

## 明 細 書

### 分布帰還型半導体レーザ、分布帰還型半導体レーザアレイ及び光モジュール

#### 技術分野

[0001] 本発明は、分布帰還型半導体レーザ、分布帰還型半導体レーザアレイ及び光モジュールに関し、特に光通信用途に利用できる分布帰還型半導体レーザ、分布帰還型半導体レーザアレイ及び光モジュールに関する。

#### 背景技術

[0002] 近年、テレコムからデータコムへと通信コンテンツシフトが進むなか、インターネットトラフィックを流れる情報量は、飛躍的な増大を続けている。現在、光通信システムの容量拡大ボトルネックは、メトロ・アクセス系領域であり、システムキーデバイスとして、低コストな直接変調光源が求められている。

[0003] そのような光源に求められる特性は、

(A) 高速変調性(>10Gbps、即ち高い緩和振動周波数 $f_r$ が必要)

(B) 低消費電力(Uncooled、即ち高温特性が必要)

(C) 低電圧・低駆動電流

(D) 広波長域対応(1.3  $\mu\text{m}$ 帯～1.55  $\mu\text{m}$ 帯)

であり、これらの要求に応えられるレーザとして、(1)直接変調DFBレーザ、(2)直接変調 面発光レーザ(VCSEL)、(3)直接変調 短共振器FPレーザ等が研究されている。

[0004] 例えば、(1)の直接変調DFBレーザでは、非特許文献1に、1.3  $\mu\text{m}$ 帯で共振器長(利得発生領域長)170～300  $\mu\text{m}$ のInGaAlAs系DFBレーザが報告され、共振器長170  $\mu\text{m}$ を用いることで、85℃での緩和振動周波数19GHzが得られている。また、非特許文献2においては、同じく1.3  $\mu\text{m}$ 帯において、ドライエッチング回折格子を用いて、共振器長200  $\mu\text{m}$ のDFBレーザで、115℃で12.5Gbpsの変調を実現し、実用上十分な性能を得ることができている。

[0005] また、(2)のVCSELについては、まず、短波系VCSEL(780nm～980nm帯等)

で10Gbpsを超える高速変調特性が実現され(例えば、非特許文献3参照)、より長波長化を目指した研究開発が進められている(例えば、非特許文献4参照)。

[0006] そして、(3)のFPレーザについては、開発の歴史も古く、ドライエッチングによる端面形成技術(例えば、非特許文献5参照)を用いて究極的な極短共振器化の試みがなされ、非特許文献6では、共振器長 $20\mu\text{m}$ 程度のレーザも報告されている。一方、構造最適化も進められており、非特許文献7にあるように、共振器長 $200\mu\text{m}$ で両端面HRコーティングを施したレーザで、 $85^{\circ}\text{C}$ で11.9GHzのfrを実現した例もある。また、共振器長を $60\mu\text{m}$ 程度以下とすることで、単一モード性を向上させる手法も開示されている(例えば、特許文献1参照)。

[0007] 他に、DBRレーザにおいて共振器長(利得発生領域長)を短くし、電流注入による波長チューニング時のモードポップを抑制したり、低閾値発振や高速応答性を満足したりする構成が開示されている(例えば、特許文献2参照)。

[0008] なお、半導体レーザにモノリシックにモニタPD(フォトダイオード)を集積する構成は、特許文献3に開示されている。

特許文献1:特許第2624140号公報

特許文献2:特開2003-46190号公報

特許文献3:特許第2545994号公報

非特許文献1:M. Aoki 他, “ $85^{\circ}\text{C}$ -10Gbit/s operation of  $1.3\mu\text{m}$  InGaAlAs MQW-DFB laser”, ECOC2000 vol. 1, p. 123-124.

非特許文献2:K. Nakahara 他, “ $115^{\circ}\text{C}$ , 12.5-Gb/s direct modulation of  $1.3\mu\text{m}$  InGaAlAs-MQW RWG DFB laser with notch-free grating structure for datacom applications,” OFC2003 PDP40.

非特許文献3:G. Shtengel他, “High-Speed Vertical-Cavity Surface Emitting Laser,” IEEE Photonic. Technol. Lett., 1993., vol. 5, no. 12, p. 1359-1362

非特許文献4:A. Ramakrishnan 他, “Electrically pumped 10 Gbit/s MOVPE-grown monolithic  $1.3\mu\text{m}$  VCSEL with GaInNAs active region,” IEE Electronics Letters, 2002., vol. 38, no. 7

非特許文献5:M. Uchida 他, “An AlGaAs Laser with High-Quality Dry Etched Mirrors Fabricated Using an Ultrahigh Vacuum In Situ Dry Etching and Deposition Processing System,” IEEE J. of Quantum Electron. , 1988. , Vol. 24, no. 11, p. 2170–2176

非特許文献6:T. Yuasa 他, “Performance of Dry-etched short cavity GaAs/AlGaAs multiquantum-well lasers,” J. Appl. Phys. , 1988. , Vol. 63, no. 5, pp. 1321–1327

非特許文献7:T. Aoyagi 他, “Recent progress of 10Gb/s laser diodes for metropolitan area networks,” SPIE, 2001. , vol. 4580, APOC 2001, Beijing, China

## 発明の開示

## 発明が解決しようとする課題

### [0009] [1]課題の説明

このように、(1)の直接変調DFBレーザ(共振器長(利得発生領域長) $L > 170 \mu\text{m}$ 程度)では、ほぼ実用レベルの特性が得られてきている。しかし、実際の使用を考えると、まだまだ駆動電流が大きく、10Gbps以上の超高速変調で、数十mAの電流を変調させるドライバICを必要としている。つまり、これまでの直接変調DFBレーザでは、駆動電流が大きい( $> 50\text{mA}$ )が故に、ICへの負担が大きいという課題が残存しているのである。

[0010] これに対して、(2)のVCSELは、低駆動電流化(閾値電流 $I_{th} < 1\text{mA}$ 、駆動電流 $I_{op} < 10\text{mA}$ )が可能なデバイスであり、(1)の直接変調DFBレーザに代わる次世代光源として期待されている。しかしながら、共振器長があまりに短いため、発振させるためには、低損失の高反射ミラーを作り込む必要があり、ミラー面に光学損失を発生させるドーピングを十分行うことが出来ない。そのため、抵抗が高くなり、駆動電圧が高い(3V以上必要)という問題がある。

[0011] 更に、共振器体積があまりに小さいため、光出力が低いこと(2mW以下)や、別の問題として、長波長化が困難なこと(波長 $1.34 \mu\text{m}$ を越えることが困難)、も大きな課題として存在している。

- [0012] (3)のFPレーザは、比較的容易に短共振器化が図れるが、たとえ、非特許文献6のように、 $20\ \mu\text{m}$ 程度まで極短共振器化したとしても、VCSELレベル( $< \text{数}\ \mu\text{m}$ )まで超短共振器化できなければ、GHz以上の超高速変調で10km程度の伝送に耐えるに十分な“動的”単一モード性、チャープニング特性を得ることはできない。
- [0013] このように、上記三つのタイプのレーザは、基本的に、それぞれが課題を内在しているといえる。そして、ここまでの説明から、上記課題の解決策の糸口として、次のことが考えられるだろう。即ち、極短共振器FPレーザの“動的”単一モード性を、何らかの手段で向上させることができれば、VCSELを凌駕し、そしてDFBレーザをも凌駕しうる特性の超高速直接変調光源が実現できる、ということである。
- [0014] では、“動的”単一モード性の向上策は何か？類推される、最も単純な方法は、DFBレーザの共振器長(利得発生領域長)をもっと短く、但し、VCSELよりも長い共振器長で、且つ、十分な単一モード性と低閾値電流特性を両立できる構造を見いだす、ということであろう。確かに、これができれば上記(1)～(3)の問題を全て解決できるはずである。しかし、従来の結合係数  $\kappa = 50\text{cm}^{-1}$  程度のDFBレーザ(両端面AR-AR、又はHR-AR構造)を、単に短共振器化していくことを考えると、この場合は、著しい閾値電流の上昇を招くため、実際の使用には耐えられない。即ち、非特許文献7でも述べられているように、回折格子を有するDFBレーザの極短共振器化を考える場合には、少なくとも閾値電流低減を図るため、極めて大きな  $\kappa$  の導入が必要不可欠なのである。しかし、そのような高  $\kappa$  構造で、低閾値電流特性と高い単一モード安定性の両立を図れる構造が存在するかどうかは不明であり、そもそも両立が可能かどうか不明ではなかった。なぜなら、極めて大きな  $\kappa$  の導入は、回折格子反射率の波長依存性が平坦化するということを意味しており、単一モード性が悪化するからである。その結果、DFBレーザの短共振器化の試みは、2003年7月現在においても、 $170\ \mu\text{m}$ 程度が下限であった。
- [0015] なお、特許文献2には、共振器長(利得発生領域長)が $18\ \mu\text{m}$ 以上 $200\ \mu\text{m}$ 以下のレーザが開示されているが、このレーザは、FP活性領域の外側にのみ回折格子を付与したDBR構造である。DBRレーザは、DFBレーザよりも基本的に単一モード安定性そのものが悪いため、我々の目的である超高速変調に用いるには安定性が十

分とはいえない。また、特許文献2の基本構成においては、活性領域に多モード導波路(MMI)を用いる必要があるため、その部分に回折格子を描画することができず、我々の提案するようにDFBレーザ化することも不可能である(仮にMMI領域に回折格子を形成した場合、多モード導波路なので、かえって多モード発振してしまうため)。

[0016] [2]発明の目的

本発明は、このような状況を鑑みてなされたものであり、その目的は、上記(1)～(3)のタイプのレーザにおける課題を全て解決すること、即ち(I)低閾値電流(低駆動電流)特性、(II)高単一モード特性を両立し、更に(III)高fr特性、(IV)高温特性、(V)広い波長域への対応を可能にすることである。即ち、従来の直接変調DFBレーザ、VCSEL、FPレーザの特性を凌駕しうる特性を有する極短共振器(利得発生領域が極短い)分布帰還型半導体レーザ(DFBレーザ)を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0017] [1]発明の特徴

本発明の分布帰還型半導体レーザは、レーザ光の利得を発生させる利得発生領域と、該利得発生領域の内部に形成された回折格子と、を備える分布帰還型半導体レーザにおいて、前記利得発生領域を挟む前後2つの端面のうち前端面の反射率は1%以下に設定されているとともに、前記2つの端面のうち後端面側から前側を見た反射率は30%以上に設定され、前記回折格子の結合係数を $\kappa$ 、前記利得発生領域の長さをLとすると、 $\kappa$ は $100\text{cm}^{-1}$ 以上に、Lは $150\mu\text{m}$ 以下に、それぞれ設定され、モード間利得差を $\Delta\alpha$ 、閾値利得を $g_{th}$ とすると、 $\Delta\alpha/g_{th}$ が1以上となる $\kappa$ とLの組み合わせを用いていることを特徴としている。

[0018] ここで「利得発生領域を挟む前後2つの端面のうち後端面側から前側を見た反射率」とは、「利得発生領域を挟む前後2つの端面のうち後端面の反射率」である場合(利得発生領域の後方側に反射機能領域を備えていない場合)と、「利得発生領域を挟む前後2つの端面のうち後端面による反射に加えて、利得発生領域の後方側に配された反射機能領域(反射器)からの反射を含んだ反射率」である場合がある。なお、「利得発生領域の前端面」は、レーザ光の射出端面である。

- [0019] また、モード間利得差  $\Delta \alpha$  とは、基本モードと隣接モードとのミラー損失の差であり、閾値利得  $g_{th} = (\text{内部損失 } \alpha_i + \text{ミラー損失 } \alpha_m)$  である。
- [0020] なお、本発明の分布帰還型半導体レーザは、従来と比べて利得発生領域長が極短い分布帰還型半導体レーザ (DFBレーザ) であるが、特に、当該DFBレーザの後方に反射機能を構えていない場合 (例えば、図7、図15) には、利得発生領域長 = 共振器長であるため、「極短共振器DFBレーザ」と表現することができる。他方、DFBレーザの後方に反射機能を構えている場合 (例えば、図16) には利得発生領域長 = 共振器長とはならないため、この場合も含めて、本発明の分布帰還型半導体レーザを「利得発生領域長が極短いDFBレーザ」或いは「極短い利得発生領域長のDFBレーザ」と表現することがある。
- [0021] 本発明の分布帰還型半導体レーザにおいては、結合係数  $\kappa$  と利得発生領域長  $L$  との積 ( $\kappa L$  値) が1以上3以下であることが好ましい。
- [0022] 本発明の分布帰還型半導体レーザにおいては、 $\Delta \alpha / g_{th}$  の利得発生領域長  $L$  への依存性をプロットした場合に  $\Delta \alpha / g_{th}$  がピーク値となる利得発生領域の長さを  $L_p$  とすると、前記利得発生領域の長さ  $L$  は  $L_p$  以下であることが好ましい。
- [0023] 本発明の分布帰還型半導体レーザにおいては、前記回折格子が、(1) 利得結合構造であるか、(2) 損失結合構造であるか、(3) 利得結合、損失結合及び屈折率結合のうちの2つ或いは3つが混在する構造であるか、又は、(4) 屈折率結合構造で且つ  $\lambda / 4$  シフト構造を有していること、が好ましい。
- [0024] 特に、回折格子が、屈折率結合構造で且つ  $\lambda / 4$  シフト構造を有する場合は、該  $\lambda / 4$  シフト位置が、前記利得発生領域の前後方向の長さを100%としたとき、該利得発生領域の前端より75%  $\pm$  5% 後方の位置とされていることが好ましい。
- [0025] また、本発明の分布帰還型半導体レーザにおいては、前記利得発生領域の後端面がエッチングにより形成され、当該分布帰還型半導体レーザを含む素子全体 (つまりワンチップ) の前後長は150  $\mu\text{m}$  よりも長いことが好ましい。
- [0026] この場合、前記素子は、前記エッチングにより形成された端面ギャップを介して当該分布帰還型半導体レーザの後方側に集積された他の機能領域を含む構造とされていることも好ましい。

- [0027] 加えて、これらの場合、前記他の機能領域が、受光機能を有することを好ましい例とする。
- [0028] また、前記他の機能領域が受光機能を有する場合、その前端面が、前記利得発生領域の後端面に対し傾斜状態に形成されていることが好ましい。
- [0029] また、前記他の機能領域が、前記利得発生領域側への反射機能を有することも好ましい。すなわち、この場合に、「利得発生領域を挟む前後2つの端面のうち後端面側から前側を見た反射率」が、「利得発生領域を挟む前後2つの端面のうち後端面による反射に加えて、利得発生領域の後方側に配された反射機能領域からの反射を含んだ反射率」となる。
- [0030] また、本発明の分布帰還型半導体レーザにおいては、前記利得発生領域の後端面の反射率が90%以上に設定されていることが好ましい。
- [0031] 具体的には、例えば、前記利得発生領域の後端面は、該後端面に高反射膜が設けられたことにより90%以上の反射率とすることができる。
- [0032] この場合、前記高反射膜には、前記利得発生領域内より光を導出させるための光導出用窓が形成されていることが好ましい。
- [0033] また、本発明の分布帰還型半導体レーザにおいては、前記利得発生領域を構成する材料が、Al、N及びSbのうちの少なくとも何れか1つを含むことが好ましい。
- [0034] また、本発明の分布帰還型半導体レーザの直列抵抗は $50\ \Omega \pm 10\ \Omega$ であることが好ましい。
- [0035] また、本発明の分布帰還型半導体レーザアレイは、本発明の分布帰還型半導体レーザをアレイ状にモノリシックに備え、且つ各分布帰還型半導体レーザの波長が相互に異なることを特徴としている。
- [0036] また、本発明の光モジュールは、本発明の分布帰還型半導体レーザ又は本発明の分布帰還型半導体レーザアレイを備えることを特徴としている。
- [0037] [2]作用
- (1) 単一モード安定性指標の導出
- 本発明では、まず、極短共振器の(利得発生領域が極短い)分布帰還型半導体レーザ(DFBレーザ)の単一モード安定性を評価するのに必要な指標の導出から説明

しなければならない。なぜなら、本発明のDFBレーザを従来と同一の指標で考えることは不適切だからである。

[0038] 従来、DFBレーザの単一モード安定性を量る指標としては、実験的には、副モード抑圧比(Side Mode Suppression Ratio、SMSR、dB単位である)が広く用いられてきており、また解析では、より直接的に理解できるパラメータとして、基本モードと隣接モードとのミラー損失の差である $\Delta \alpha$  [cm<sup>-1</sup>]、または $\Delta \alpha$ に共振器長(利得発生領域長)Lを乗算した $\Delta \alpha \cdot L$ が用いられてきた。この指標は、従来の共振器長 $L = 200 \sim 600 \mu\text{m}$ 程度のDFBレーザについて考える場合には、過去の実験的裏付け(実験的に得られる単一モード歩留まりと設計パラメータとの対応)等があったため、十分目安となる指標であった。しかし、本発明のように、従来にないほどに極短共振器化をはかるDFBレーザの構造を最適なものにするためには、同一の指標で考えることが、そもそもできない。

[0039] 例えば、 $L = 250 \mu\text{m}$ の通常のDFBレーザに対して、十分な単一モード安定性を得るために必要な $\Delta \alpha \cdot L$ が0.5だったとする。この場合に、同じ0.5を $L = 50 \mu\text{m}$ のDFBレーザで実現するために必要な $\Delta \alpha$ を、 $\Delta \alpha \cdot L$ を指標として導くならば、 $L = 250 \mu\text{m}$ と比べて5倍の $\Delta \alpha$ が要求されることになってしまうが、これは到底正しいとは考えられない。また、基本的に、高 $\kappa$ の導入(即ち、ミラー損失曲線が平坦化し、 $\Delta \alpha$ は小さくなる傾向を生じる)が必要な、利得発生領域が極短いDFBレーザの単一モード安定性を考えるために、 $\Delta \alpha$ のみを用いることにも疑問がある。

[0040] そこで、本発明者は、まず、極短い利得発生領域を有するレーザに対して十分適用でき、且つデバイスパラメータとの相関が明確な、単一モード安定性を示す指標の導出を行った。その為に、SMSRの基本式に立ち返り、見直しを行った。

[0041] SMSRの式は、以下の(1)式のように、主モード(波長 $\lambda_0$ )と、次に強い副モード(=隣接モード、波長 $\lambda_1$ )との光出力 $P(\lambda_n)$ の比で表される。

[0042] [数1]



$$\text{SMSR} = \frac{P(\lambda_0)}{P(\lambda_1)} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

[0043] また、それぞれの光出力は、以下の(2)式で表される。

[0044] [数2]

$$P(\lambda_n) = F_1 v_g \alpha_m(\lambda_n) N_p(\lambda_n) h \nu V_p \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (2)$$

[0045] 上記の(2)式において、 $F_1$ :片側の端面出力／全光出力、 $v_g$ :群速度、 $\alpha_m$ :ミラーロス、 $N_p$ :光子密度、 $h$ :プランク定数、 $V_p$ :共振器の体積である。

[0046] そして、SMSRの式は以下の(3)式で表すことができる。

[0047] [数3]

$$\text{SMSR} = \left\{ \frac{g_{th,0}}{g_{th,1}} + \frac{\Delta \alpha + \Delta g}{g_{th,1} \cdot \beta_{sp}} \cdot \left( \frac{1}{l_{th,0}} - 1 \right) \right\} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (3)$$

[0048] ここで、 $g_{th}$ :閾値利得、 $I_{th}$ :閾値電流、 $\beta_{sp}$ :自然放出光係数であり、 $g_{th}$ は内部損失 $\alpha_i$ とミラー損失 $\alpha_m$ との和である。添え字の1、0は、0が主モード、1が副モードを意味する。SMSRは、閾値電流との比である $I/I_{th}$ 、0を固定すれば利得と損失の関数であり、利得発生領域長 $L$ には依存しない。ここで、利得が周波数(つまり波長)に依存しない( $\Delta g \sim 0$ )と近似すると、SMSRの式は、次の(4)式のように変形することができる。

[0049] [数4]

$$\text{SMSR} = \frac{1}{\frac{\Delta \alpha}{g_{\text{th},0}} + 1} + \frac{\frac{\Delta \alpha}{g_{\text{th},0}}}{\left(\frac{\Delta \alpha}{g_{\text{th},0}} + 1\right) \cdot \beta_{\text{sp}}} \cdot \left(\frac{1}{I_{\text{th},0}} - 1\right) \cdot \dots \quad (4)$$

[0050] 即ち、SMSRは $\Delta \alpha / g_{\text{th},0}$ の関数として表せることを意味している。

[0051] ここで、図1に $\alpha_i = 20 \text{ cm}^{-1}$ 、 $\beta_{\text{sp}} = 5 \times 10^{-5}$ としたときのSMSRの $\Delta \alpha / g_{\text{th}}$ 依存性を示す。同図から、SMSRは、 $\Delta \alpha / g_{\text{th}}$ が大きくなるほど増大し、単一モード安定性が高くなることがわかる。また、SMSRは、 $\Delta \alpha / g_{\text{th}}$ が0から1にかけて急激に増大するが、1以上の領域では飽和傾向にあり、緩やかに増加することもわかる。 $\Delta \alpha / g_{\text{th}} = 1$ の物理的意味は、副モードが発振するためには、主モードの発振に必要な利得の2倍の利得が必要であることを意味している。例えば、 $I / I_{\text{th}} = 5$ のとき、 $\Delta \alpha / g_{\text{th}} = 1$ のSMSRは、46dBであることから、 $\Delta \alpha / g_{\text{th}} > 1$ の範囲では、高い単一モード安定性が期待できる。この新たに見いだした“ $\Delta \alpha / g_{\text{th}}$ ”というパラメータは、従来、単一モード安定性指標として用いられてきた $\Delta \alpha$ を分子に有し、且つ閾値電流に直結する $g_{\text{th}}$ を分母に有しているため、デバイス構造パラメータとの相関が非常にわかりやすい指標といえる。利得発生領域長が極短いDFBレーザを考えるためには、この指標をこそ用いなければならないと考える。

[0052] よって、本発明では、 $\Delta \alpha / g_{\text{th}}$ というパラメータを単一モード安定性を量る指標として用いる。そして、利得発生領域長が極短いDFBレーザにおいて、 $\Delta \alpha / g_{\text{th}}$ が1以上となる構造こそが、高い単一モード安定性が得られる構造であるということを見いだしたわけである。以下では、このように高い単一モード安定性と低閾値電流特性を両立できるデバイス構造が、どのような構造であるか、具体的に説明する。

[0053] (2) 共振器端面反射率(利得発生領域を挟む前後2つの端面の反射率)について  
単一モード安定性向上を考える上で、最初に考えるパラメータは、共振器の両端面の反射率、及び $\lambda / 4$ シフト位置である。DFBレーザで最も高い単一モード安定性を得るには、両端面を低反射率(AR)化(反射率は1%以下)することであるが、利得発生領域長が極短い構造で低閾値電流化するためには、いくら高い $\kappa$ の回折格子を導入するといえども、回折格子の反射率だけでは、基本的に反射率が不足するた

め、利得発生領域を挟む前後2つの端面のうち、少なくとも片端面は、劈開端面(R<sub>1</sub>〜30%)以上に高反射率(HR)化する必要がある。つまり、1%以下のAR端面と、30%以上の端面が必要と考えられる。更に、30%側の端面反射率を、誘電体多層膜や金属膜等の高反射膜により高反射化させ、より高い90%以上にすることができれば、低閾値電流化には極めて有効である。

[0054] なお、ここで、利得発生領域の後端面側については、該後端面単体で30%以上(好ましくは90%以上)の反射率を有していても良いが、利得発生領域の後方に配設された反射機能領域からの反射分を含めることによって、このように30%以上(好ましくは90%以上)の反射率を実現することとしても良い。

[0055] 加えて、このような構造(利得発生領域を挟む前後2つの端面のうち前端面の反射率は1%以下に、後端面側から前側を見た反射率は30%以上にした構造)で、しかも高い単一モード歩留まりが得られる構造を見いだすことは、重要であろう。もちろん、従来の共振器長(〜300 μm)のDFBレーザに対しては、このような非対称な端面構造の解析は、既に多くの報告がなされており、高い単一モード歩留まりを得るための指針も明らかにされている。しかし、本発明のような極短い利得発生領域のDFBレーザについても同様の指針が当てはまるかどうかは不明であったため、 $\Delta\alpha/gth$ パラメータを用いて、その検証を行った。

[0056] 計算した構造は、(1)非対称 $\lambda/4$ ( $\lambda/4$ 位置は、利得発生領域を前後方向において25:75の比に分けた場合のHR側25の位置)でHR-ARの各反射率が(90%-0%)の構造、(2) $\lambda/4$ シフト無しのHR-ARの各反射率が(90%-0%)の構造、(3) $\lambda/4$ シフト無しのHR-CLの各反射率が(90%-30%)の構造である。なお、通常の(共振長が200〜600 μmの場合)DFBレーザでは、(1)の構造が最も高い単一モード歩留まりが得られることが解っている。実際に計算に用いたパラメータは、 $L=50\text{ }\mu\text{m}$ 、 $\kappa=400\text{cm}^{-1}$ 、実効屈折率 $n=3.226$ 、回折格子周期203.04nm、キャリア寿命 $\tau_s=5\times 10^{-9}\text{s}$ 、内部損失 $\alpha_i=20\text{cm}^{-1}$ そして $\beta_{sp}=5\times 10^{-5}$ とした。

[0057] 単一モード歩留まりは、HR端面位相を0〜 $\pi$ まで8等分、CL端面位相を0〜 $\pi$ まで4等分して得られる合計32個の素子におけるそれぞれの $\Delta\alpha/gth$ を計算により求め、その求めた値が1以上となる素子の割合で評価した。図2に計算結果を示す。

- [0058] 図2から分かるように、本発明のような極短共振器DFBレーザについても従来のDFBレーザと同様の傾向が見積もられ、非対称 $\lambda/4$ 構造では、最も良い59%の歩留まりが得られた。一方HR-CL構造では、ミラー損失 $\alpha_m$ 自体の大きさは、非対称 $\lambda/4$ 構造より小さな値が得られたのだが(即ち閾値電流は小さくなる)、 $\Delta\alpha/gth > 1$ を満たす結果は得られず、歩留まりは0%となった。以上の結果から、本発明のような極短い利得発生領域長のDFBレーザにおいても、少なくとも、通常のDFBレーザと同様に利得発生領域を25:75の比に分けた非対称 $\lambda/4$ 構造は、高単一モード歩留まりが得られる基本構造として有効であることが確認された。なお、非対称 $\lambda/4$ 構造を有効とするために好ましい $\lambda/4$ シフト位置の許容ずれは、例えば $\pm 5\%$ 程度以内である。
- [0059] 以上では、本発明の分布帰還型半導体レーザ(DFBレーザ)の回折格子が、屈折率結合のみからなる場合について説明した。その場合、 $\lambda/4$ シフトの導入が有効であり、利得発生領域内における $\lambda/4$ シフト位置を25:75の位置にすることが有効であることを示した。但し、その他にも、回折格子が、利得結合、もしくは損失結合、もしくは利得結合や損失結合や屈折率結合が混在する回折格子となっている場合は、 $\lambda/4$ シフトの導入無しで、同様の効果(高単一モード歩留まり)を得ることが出来る。
- [0060] これらのうち、利得結合構造からなる回折格子、損失結合構造からなる回折格子、及び、屈折率結合構造で且つ $\lambda/4$ シフト構造を有している回折格子は、何れも理論的な単一モード歩留まりが100%となる。また、利得結合、損失結合及び屈折率結合のうちの2つ或いは3つが混在する構造の回折格子の場合には、理論的な単一モード歩留まりが100%には達しないものの、それに近い歩留まりを得ることも可能であり、 $\lambda/4$ シフト構造以外の純粋な屈折率結合構造の場合よりも格段に単一モード歩留まりが向上する。
- [0061] 次に、実使用を考えた場合、どのような利得発生領域長で、どのような結合係数を用いると、上記のような $\lambda/4$ シフトや端面構造で、更に高い単一モード安定性と低閾値電流特性を両立できるか、について説明する。
- [0062] (3) 結合係数 $\kappa$ 、利得発生領域長(共振器長) $L$ について  
ここでは、利得発生領域長が極短いDFBレーザの“単一モード安定性”に着目し、

結合係数  $\kappa$ 、利得発生領域長  $L$  の最適構造の導出を行う。ここで、 $\Delta \alpha / g_{th}$  という指標は、原理的に、内部損失  $\alpha_i$  というパラメータを含んでおり、 $\alpha_i$  依存性についても考えなければならない。 $\alpha_i$  は、レーザを作製する場合に活性層の層厚やドーピング濃度によって、下限として数  $\text{cm}^{-1}$ 、上限として  $25 \text{cm}^{-1}$  程度の値をとる。よって、この範囲で検討する必要がある。

[0063] 利得発生領域長が極短いDFBレーザの計算モデルを図3に示す。HRとして90%、ARとして0%の反射率を考え、 $L1:L2=25:75$ を用いた。

[0064] まず図4に、 $\alpha_i$  が上限の  $25 \text{cm}^{-1}$  の場合において、種々の  $\kappa$  に対して、 $\Delta \alpha / g_{th}$  の利得発生領域長  $L$  への依存性を調べた結果を示す。従来の直接変調DFBレーザの  $\kappa$  は  $50 \sim 60 \text{cm}^{-1}$  程度であるが、例えば  $\kappa = 50 \text{cm}^{-1}$  では、どのような利得発生領域長  $L$  に対しても、 $\Delta \alpha / g_{th}$  は1以下しか得られない。また、 $\kappa = 50 \text{cm}^{-1}$  程度の場合は、 $\Delta \alpha / g_{th}$  の利得発生領域長依存性は、なだらかであり  $L$  に鈍感である。これに対して、 $\kappa$  が  $100 \text{cm}^{-1}$  以上で、利得発生領域長が  $150 \mu\text{m}$  以下の場合、 $\Delta \alpha / g_{th}$  が1を越える領域が存在する。典型的には、 $100 \text{cm}^{-1}$  以上の高い  $\kappa$  を有するDFBレーザでは、 $\kappa$  が大きくなればなるほど、より利得発生領域が短くなる側に  $\Delta \alpha / g_{th}$  が1を越す領域が存在し、しかもピークを持つことがわかる。この1を越す領域は、高  $\kappa$  ほど利得発生領域が短くなる側にシフトし、且つピークの値自体も大きくなる。つまり、 $\kappa$  を大きくしつつ、利得発生領域の短尺化を行う場合、 $\Delta \alpha / g_{th}$  が鋭いピークを呈するため、精密な利得発生領域長  $L$  と  $\kappa$  の組み合わせを用いる必要があることを意味している。

[0065] ここで明らかになったことは、 $\alpha_i$  が上限値と考えられる  $25 \text{cm}^{-1}$  程度の場合でも、 $\kappa$  を  $100 \text{cm}^{-1}$  以上とし、 $L$  を  $150 \mu\text{m}$  以下とすることで、 $\Delta \alpha / g_{th} > 1$  の領域を得ることができる、ということである。

[0066] 次に、図5に、 $\alpha_i$  が下限の  $5 \text{cm}^{-1}$  の場合において、種々の  $\kappa$  に対して、 $\Delta \alpha / g_{th}$  の利得発生領域長  $L$  への依存性を調べた結果を示す。このとき、従来の  $\kappa = 50 \text{cm}^{-1}$  の場合は、利得発生領域長  $L$  が  $150 \mu\text{m}$  以上で  $\Delta \alpha / g_{th} > 1$  を得ることができる。しかし、利得発生領域長  $L$  が  $150 \mu\text{m}$  以下では、 $\Delta \alpha / g_{th}$  は1以下となる。しかし、 $\kappa$  を  $100 \text{cm}^{-1}$  以上とすることで、 $L$  が  $150 \mu\text{m}$  以下の領域の  $\Delta \alpha / g_{th}$  を1より遙かに

大きくすることができる。

[0067] このように、 $\kappa$ を $100\text{cm}^{-1}$ 以上とし、 $L$ を $150\mu\text{m}$ 以下とする構成は、利得発生領域長が極短いDFBレーザにおいてこそ、高い単一モード安定性を得る上で有効な組み合わせといえることができ、内部損失が $\text{数cm}^{-1}$ 程度の下限から $25\text{cm}^{-1}$ 程度の上限に亘る広い範囲で有効である。そして、ある内部損失 $\alpha_i$ に対して、利得発生領域長 $L$ の下限長は、 $\Delta\alpha/\text{gth}$ が1以下になる長さとして規定することができる。

[0068] ここで、上記、 $\kappa$ と $L$ の組み合わせについて、もう一つ考慮しなければならない効果がある。それは、閾値電流以上の駆動状態において軸方向空間ホールバーニング現象にともなう単一モード安定性劣化である。軸方向空間ホールバーニング現象は、基本的に利得発生領域内の軸方向光強度分布に依存している。そして、端面構造(AR-HR)、 $\lambda/4$ シフト位置が決められたDFBレーザの場合、光強度分布は、結合係数 $\kappa$ と利得発生領域長 $L$ との積( $\kappa L$ )の絶対値のみで決定される。軸方向空間ホールバーニングの影響を抑制し、より安定な動作を実現するためには、 $\kappa L$ の値は、1以上3以下の範囲に設定すると良い。

[0069] (4) 閾値電流について

ここでは、“低閾値電流特性”との両立について考え、より“低駆動電流化”に有効なパラメータを絞り込む。即ち、“安定な単一モード特性”が得られ、且つ、“低閾値電流特性”が得られるデバイスパラメータを見いだす。

[0070] 図6に、 $\alpha_i=20\text{cm}^{-1}$ において、種々の $\kappa$ に対して、 $\Delta\alpha/\text{gth}\geq 1$ を満たす $L$ のみに対して、閾値電流( $I_{th}$ )を計算した結果を示す。

[0071]  $\kappa=50\text{cm}^{-1}$ では、いかなる利得発生領域長でも $\Delta\alpha/\text{gth}\geq 1$ が得られないが、 $\kappa=50\text{cm}^{-1}$ でプロットしているグラフは、従来のDFBレーザ構造のリファレンスとして示している。

[0072] また、図6の各曲線上に点で示したポイントは、各 $\kappa$ に対して $\Delta\alpha/\text{gth}$ がピークとなる利得発生領域長 $L$ を示している。計算結果から、閾値電流は、ほぼ $\Delta\alpha/\text{gth}$ がピークとなる利得発生領域長 $L$ で最小となることがわかった。また、同じ $L$ でも $\kappa$ が大きくなるほど閾値電流は小さくなり、 $\kappa=300\text{cm}^{-1}$ では、Ref構造の1/3以下まで低い閾値電流が見積もられた。

[0073] 利得発生領域長が極短いDFBレーザにおいて閾値電流が低減される理由は、(1)  $L$ が短い領域では、体積縮小により絶対値として発振に必要な電流が下がる、(2)  $\kappa$ が大きい構造では、高い反射率が得られるため、閾値利得が下がり、閾値電流が下がる、という二つの理由が考えられるが、高い緩和振動周波数 $f_r$ を得るためには、体積縮小効果は極めて有効であるので、高 $f_r$ 特性まで含めて考えると、最適な利得発生領域長は、 $\Delta\alpha/g_{th}$ がピークとなる共振器長以下で、 $\Delta\alpha/g_{th} > 1$ が得られる範囲といえることができる。

[0074] (5)利得発生領域長が極短いDFBレーザの利点をより増大させる、その他の構造について

ここでは、結合係数 $\kappa$ と利得発生領域長 $L$ の値の組み合わせ等に加えて、更に素子特性を向上させる上で有効な、利得発生領域長が極短いDFBレーザの構造について説明する。

[0075] 本発明では、利得発生領域長を $150\mu m$ 以下と、利得発生領域長の極短尺化を図っている。このような構造の場合、従来のように両端面を劈開することは、極めて困難である。また、他にもハンドリング問題がある。つまり、たとえ劈開ができたとしても、分布帰還型半導体レーザ(DFBレーザ)を含む素子全体の長さが $150\mu m$ 以下であれば、モジュール等へ搭載する場合に、ハンドリングが極めて困難になる。しかし、利得発生領域の前端面は、1%以下に低反射化しなければならないため、無反射コーティングを行う関係上、フラットな劈開面とすることが望ましい。つまり、片端面は劈開面としなければならないのである。

[0076] このような状況を鑑み、本発明では、反射率30%以上が必要な利得発生領域後端面の形成にエッチングを用いる。高反射側端面は、その形状が多少凸凹していても、30%以上の反射率を実現するためのコーティングは十分可能だからである。高反射膜には、例えば、電流注入用の金属電極膜等を用いることもできる。エッチングで裏側端面を形成することにより、DFBレーザの利得発生領域長そのものは $150\mu m$ 以下に維持し、素子全体の長さ(前後長さ)は $150\mu m$ より長く、ハンドリング装置の能力に応じて適当な長さにする。適当な長さとは、例えば $170\mu m$ 程度以上である。

- [0077] エッチングで後方端面を形成することは、もう一つのメリットを生む。すなわち、他の機能領域の集積化である。本発明の場合、DFBレーザ領域長は、 $150\text{ }\mu\text{m}$ 以下であり、素子長は、ハンドリングを考慮して $150\text{ }\mu\text{m}$ より長く、従来の単機能光源程度の長さにするわけであるから、その余分な長さの領域に、別の機能領域を集積できれば、より高機能な集積素子を小さいサイズで実現でき、素子の高付加価値化がはかれる。本発明では、例えば、エッチングにより形成された端面ギャップを介して集積する他の機能には、モニタ用受光機能がある。このとき、集積された機能領域からDFBレーザ(利得発生領域、光導波路)への反射戻り光を抑制するために、本発明では、利得発生領域の後端面と、該後端面と対向する機能領域の前端面とを平行にはせず、該機能領域の前端面を利得発生領域の後端面に対し傾斜状態となるように形成する。
- [0078] このような構造は、集積された他の機能領域の端面もエッチングで形成することにより容易に実現できる。
- [0079] なお、半導体レーザにモノリシックにモニタPD(フォトダイオード)を集積する構成は、特許文献3に開示されている。しかし、モニタPDの集積は、本発明のように、利得発生領域が極短いDFBレーザと組み合わせることで初めて、素子全体の長さを従来の半導体レーザと同程度に短く維持しつつ、モニタ機能をも付加できるため、より一層メリットがある。また、本発明のように、DFBレーザの後端面(モニタPD側の端面)の反射率は、ある程度高くし、且つ、モニタPDの前端面(DFBレーザへの対向面)も、DFBレーザ端面に対し傾斜状態にして、反射戻り光を抑制しなければ、近接するモニタPDからの反射戻り光が、レーザの安定動作に悪影響を与えてしまう。このような端面形状の構成、集積素子小型化による本発明のメリットは、モニタPD以外の他の機能領域を集積する場合にも当てはまる。つまり、本発明によって、集積素子の全体サイズの低減が可能となり、ウエハからの素子収量が向上し、コスト低減が可能となるのである。
- [0080] また、本発明では、集積された機能領域に回折格子等を形成して光の反射機能を持たせることも好ましい。この場合、DFBレーザ(の利得発生領域)の後方端面に高反射膜等の形成を不要とすることができる。更に、上記、光反射機能を有する領域の光導波路組成をレーザの発振波長を考慮して適当に選ぶことで、反射だけでなく、



光の受光機能をも同時に付与することができる。

- [0081] ここで一つ述べておくことがある。上記、DFBレーザの後方端面を高反射膜で覆って高反射化させている場合、本発明では、後方のモニタPDへ、モニタするために十分な光量を取り出す(導出させる)ため、高反射膜の一部を、反射率を劣化させない程度にエッチングで除去し、光取り出し窓(光導出用窓)を形成する。
- [0082] 一方、利得発生領域が極短いDFBレーザを構成する材料としては、高温特性が期待できる、AlGaInAs等のAl系材料、GaInNAs等のN系材料或いはSb系材料の導入が、上記 $\kappa$ 、L等の構造最適化と組み合わせることで、より有効に働く。
- [0083] 利得発生領域が極短いDFBレーザを高速変調させる場合、駆動50 $\Omega$ 系とのインピーダンスマッチングを考えると、極短共振器の特徴、即ち、高抵抗化が可能ということを利用して、本発明では、ちょうどレーザの直列抵抗が50 $\Omega \pm 10\Omega$ となるようにドーピング濃度、クラッド厚等のパラメータを選ぶことが好ましい。
- [0084] 加えて、アレイ化することも有効である。即ち、本発明では、利得発生領域が極短いDFBレーザがアレイ状にモノリシックに並べられ、且つ各々のDFBレーザの波長が異なるDFBレーザアレイとすることで、波長多重光通信システム用の多波長光源を、安価に提供することができるようになる。
- [0085] 更に、本発明では、上記DFBレーザ、もしくは、上記DFBレーザアレイを少なくとも含む光モジュールとすることで、モジュールとして製品を提供することができるようになる。

### 発明の効果

- [0086] 第一の効果は、レーザ光の利得を発生させる利得発生領域と、該利得発生領域の内部に形成された回折格子と、を備える分布帰還型半導体レーザにおいて、利得発生領域を挟む前後2つの端面のうち前端面の反射率は1%以下に設定されているとともに、2つの端面のうち後端面側から前側を見た反射率は30%以上に設定され、回折格子の結合係数を $\kappa$ 、利得発生領域の長さをLとすると、 $\kappa$ は100 $\text{cm}^{-1}$ 以上に、Lは150 $\mu\text{m}$ 以下に、それぞれ設定され、モード間利得差を $\Delta\alpha$ 、閾値利得を $g_{th}$ とすると、 $\Delta\alpha/g_{th}$ が1以上となる $\kappa$ とLの組み合わせを用いているので、極めて単一モード安定性が良く、しかも低閾値電流で発振可能、且つ、利得発生領域が極短

い分布帰還型半導体レーザを提供することができる。

- [0087] 第二の効果は、上記の構造に加えて、結合係数  $\kappa$  と利得発生領域長  $L$  との積が1以上3以下とすることで、軸方向空間ホールバーニングの影響を抑制することができ、発振閾値以後の動作条件において、高出力特性を得る上で、より安定な単一モード動作を実現し、且つ、利得発生領域が極短い分布帰還型半導体レーザを提供することができる。
- [0088] 第三の効果は、上記の構造に加えて、 $\Delta \alpha / g_{th}$  の利得発生領域長  $L$  への依存性をプロットした場合に  $\Delta \alpha / g_{th}$  がピーク値となる利得発生領域の長さを  $L_p$  とすると、利得発生領域長  $L$  は  $L_p$  以下とすることで、安定な単一モード動作及び低い閾値電流に加えて、高い緩和振動周波数  $f_r$  を有し、且つ、利得発生領域が極短い分布帰還型半導体レーザを提供することができる。
- [0089] 第四の効果は、利得発生領域の内部に形成された回折格子が、利得結合構造を有しているか、損失結合構造を有しているか、利得結合、損失結合及び屈折率結合のうちの2つ或いは3つが混在する構造を有しているか、又は、屈折率結合構造で且つ  $\lambda / 4$  シフト構造を有しているので、高い単一モード歩留まりを有し、且つ、利得発生領域が極短い分布帰還型半導体レーザを提供することができる。
- [0090] 第五の効果は、特に、利得発生領域の内部に形成された回折格子が、屈折率結合構造で且つ  $\lambda / 4$  シフト構造を有し、該  $\lambda / 4$  シフト位置が、前記利得発生領域の前後方向の長さを100%としたとき、該利得発生領域の前端より75%±5%後方の位置とされているので、より高い単一モード歩留まりを有し、且つ、利得発生領域が極短い分布帰還型半導体レーザを提供することができる。
- [0091] 第六の効果は、前記利得発生領域の後端面がエッチングにより形成され、当該分布帰還型半導体レーザを含む素子全体の前後長は150  $\mu m$  よりも長い構成とすることで、極短利得発生領域の分布帰還型半導体レーザにおける劈開困難性を克服し、ハンドリング悪化を改善し、且つ、利得発生領域が極短い分布帰還型半導体レーザを提供することができる。
- [0092] 第七の効果は、前記素子を、前記エッチングにより形成された端面ギャップを介して当該分布帰還型半導体レーザの後方側に集積された他の機能領域を含む構造と

することで、更に高機能化による高付加価値化を実現し、且つ、利得発生領域が極短い分布帰還型半導体レーザを提供することができる。

[0093] 第八の効果は、集積された他の機能領域に、受光機能を付与することで、モニタPDが集積され、且つ、利得発生領域が極短い分布帰還型半導体レーザを提供することができる。

[0094] 第九の効果は、第八の効果を促進する効果であるが、集積された他の機能領域の前端面を、前記利得発生領域の後端面に対し傾斜状態に形成することで、他の機能領域から利得発生領域内への反射戻り光を抑制することができ、安定な分布帰還型レーザ動作を実現し、且つ、利得発生領域が極短い分布帰還型半導体レーザを提供することができる。

[0095] 第十の効果は、集積された他の機能領域に、反射機能を持たせることにより、例えば、利得発生領域の後端面に高反射膜を形成する必要性を無くし、モニタ用後方光をより多く出力させることもできる。更に、他の機能領域に反射機能とともに光受光機能を持たせることにより、コンパクトなモニタPD集積型で、且つ、利得発生領域が極短い分布帰還型半導体レーザを提供することができる。

[0096] 第十一の効果は、利得発生領域の後端面の反射率を90%以上に設定することで、より低閾値電流を有し、且つ、利得発生領域が極短い分布帰還型半導体レーザを提供することができる。なお、利得発生領域の後端面の反射率を90%以上とするには、例えば、該後端面に高反射膜が設けると良い。

[0097] 第十二の効果は、利得発生領域の後端面に設けられた高反射膜に、利得発生領域内より光を導出させるための光導出用窓を形成することにより、効率よく十分なモニタ用後方光を取り出すことの出来、且つ、利得発生領域が極短い分布帰還型半導体レーザを提供することができる。

[0098] 第十三の効果は、利得発生領域を構成する材料に、Al、N及びSbのうちの少なくとも何れか1つを含むようにすることで、高温動作特性に優れ、且つ、利得発生領域が極短い分布帰還型半導体レーザを提供することができる。

[0099] 第十四の効果は、分布帰還型半導体レーザの直列抵抗を $50\Omega \pm 10\Omega$ とすることで、レーザを高速変調させる場合に、容易に、駆動 $50\Omega$ 系とのインピーダンスマッチ

ングが可能で、且つ、利得発生領域が極短い分布帰還型半導体レーザを提供することができる。

[0100] 第十五の効果は、本発明の分布帰還型半導体レーザをアレイ状にモノリシックに並べ、且つ各分布帰還型半導体レーザの波長が相互に異なる分布帰還型半導体レーザアレイとすることで、波長多重光通信システム用の多波長光源を、安価に提供することができる。

[0101] 第十六の効果は、更に、本発明の分布帰還型半導体レーザ、もしくは、本発明の分布帰還型半導体レーザアレイを備える光モジュールとすることで、高い単一モード安定性、低い閾値電流、そして高いfr特性等を有する光源を、システム構築者が扱いやすいモジュールという形で提供することができる。

#### 図面の簡単な説明

[0102] [図1]副モード抑圧比(SMSR)の $\Delta\alpha/g_{th}$ 依存性を示す図である。

[図2]各構造のDFBレーザにおける単一モード歩留まりを示す図である。

[図3]DFBレーザのモデルを示す図である。

[図4]内部損失 $\alpha_i=25\text{cm}^{-1}$ の場合の、各 $\kappa$ に対する $\Delta\alpha/g_{th}$ の利得発生領域長L依存性を示す図である。

[図5]内部損失 $\alpha_i=5\text{cm}^{-1}$ の場合の、各 $\kappa$ に対する $\Delta\alpha/g_{th}$ の利得発生領域長L依存性を示す図である。

[図6] $\Delta\alpha/g_{th}\geq 1$ を満たす閾値電流の利得発生領域長L依存性を示す図である。

[図7]本発明の第一の実施形態に係る、モニタPDとモノリシック集積されたDFBレーザの構造を示す模式的な斜視図である。

[図8]図7の素子の模式的な上面図である。

[図9]図7の素子の製造プロセスにおけるMQW-SCH成長及び回折格子形成を説明するための模式的な斜視図である。

[図10]図7の素子の製造プロセスにおけるp-InPクラッド及びp+-InGaAsキャップの成長を説明するための模式的な斜視図である。

[図11]図7の素子の製造プロセスにおける導波路メサの形成を説明するための模式的な斜視図である。

[図12]図7の素子の製造プロセスにおける高抵抗InPブロック層の成長を説明するための模式的な斜視図である。

[図13]図7の素子の製造プロセスにおける素子分離を説明するための模式的な斜視図である。

[図14]図7の素子の製造プロセスにおける電極形成を説明するための模式的な斜視図である。

[図15]本発明の第二の実施形態に係るDFBレーザの構造を示す模式的な斜視図である。

[図16]本発明の第三の実施形態に係る、外部反射器とモノリシック集積されたDFBレーザの構造を示す模式的な斜視図である。

[図17]本発明の第四の実施形態に係るレーザアレイの構造を示す模式的な斜視図である。

[図18]図17のレーザアレイとAWG合波器とをハイブリッド集積した状態を示す模式図である。

#### 符号の説明

- [0103] 1 分布帰還型半導体レーザ
- 1a 前端面
- 1b 後端面
- 2 モニタPD(受光機能を有する他の機能領域)
- 3 外部反射器(反射機能を有する他の機能領域)
- 13 回折格子
- 18a DFBレーザ用p電極(一部が高反射膜を構成する)
- 29 素子
- 30 利得発生領域
- 31  $\lambda/4$ シフト位置
- 35 素子
- 33 素子
- 34 アレイ状素子(分布帰還型半導体レーザアレイ)

GL ギャップ距離(端面ギャップ)

## 発明を実施するための最良の形態

[0104] 次に、本発明に係る実施形態について図面を参照して詳細に説明する。

[0105] 〔第一の実施形態〕

図7を参照すると、本発明の第一の実施形態として、DFBレーザ(分布帰還型半導体レーザ)1とモニタPD(受光機能を有する他の機能領域)2とが一体的に集積された素子29の斜視図が示されている。また、図8は、図7に示す素子29の上面模式図である。なお、図7では、DFBレーザ1の層構造を見せるために、FeドーブInP電流ブロック層16を一部破断として透視状態にしている。更に、図7では、モニタPD2の層構造を見せるために、該モニタPD2の前端面に形成されたSiN膜17を透視状態としている。

[0106] 図7及び図8に示すように、素子29は、モノリシック集積されたDFBレーザ(分布帰還型半導体レーザ)1とモニタPD2を備える。

[0107] この素子29の全体の前後長は、例えば $250\mu\text{m}$ である。つまり、DFBレーザ1を含む素子全体の前後長は $150\mu\text{m}$ よりも長い。また、DFBレーザ1(の利得発生領域30)の前後長は、例えば $100\mu\text{m}$ であり、従来と比べて利得発生領域長が極短い。

[0108] なお、本実施形態の場合、DFBレーザ1の後方に反射機能を備えないため、本実施形態のDFBレーザ1は、「極短共振器DFBレーザ」と表現することもできる。また、本実施形態で説明するのは、利得発生領域30の後方側に反射機能領域を備えない例であるため、本実施形態の場合、「利得発生領域30を挟む前後2つの端面1a、1bのうち後端面1b側から前側を見た反射率」は、後端面1bの反射率となる。

[0109] DFBレーザ1は、n-InP基板10上に配設された、InGaAlAs系の10層の多重量子井戸(Multiple-Quantum-Well、MQW)11、AlGaInAs/AlInAs/InGaAsP系からなる光閉じこめ層(Separate-confinement-heterostructure、SCH)12a、12b、及び屈折率結合構造で且つ $\lambda/4$ シフト構造の回折格子13を含む光導波路と、p-InPクラッド14と、p+-InGaAsキャップ層15と、Feドーブ高抵抗InP16と、電流阻止用絶縁膜としてのSiN17(SiN17はPDパシベーション膜としても兼用)と、DFBレーザ用p電極18aと、n電極19(n電極19はモニタPD2にも兼用)と、を備える

- 。
- [0110] なお、このうちMQW11及び回折格子13により利得発生領域30が構成されている。
- 。
- [0111] ここで、本実施形態の層構造においては、MQW11を構成する各単層あたりのキャリア密度を下げて、微分利得を向上させるために多層のMQW11を導入しているが、内部損失が $20\text{cm}^{-1}$ 程度と高めであったため、図4のグラフを参照し、回折格子13の結合係数は $200\text{cm}^{-1}$ とし、利得発生領域30の前後長さは $100\mu\text{m}$ とした。
- [0112] すなわち、回折格子13の結合係数を $\kappa$ 、利得発生領域30の前後長さを $L$ とすると、 $\kappa$ は $100\text{cm}^{-1}$ 以上に、 $L$ は $150\mu\text{m}$ 以下に、それぞれ設定されている。更に、モード間利得差を $\Delta\alpha$ 、閾値利得を $g_{th}$ とすると、 $\Delta\alpha/g_{th}$ が1以上となる $\kappa$ と $L$ の組み合わせを用いている。しかも、結合係数 $\kappa$ と利得発生領域長 $L$ との積が1以上3以下である。加えて、 $\Delta\alpha/g_{th}$ の利得発生領域長 $L$ への依存性をプロットした場合に $\Delta\alpha/g_{th}$ がピーク値となる利得発生領域の長さを $L_p$ とすると、利得発生領域長 $L$ は $L_p$ 以下である。
- [0113] また、本実施形態では、DFBレーザ1の後端面1b(図8参照)はICPドライエッチング等により形成し、更に、該後端面1bを、DFBレーザ用p電極18aを構成するTi/Pt/Auの金属多層膜で被覆することにより、該後端面1bを、例えば95%以上の反射率に高反射化している。
- [0114] 他方、DFBレーザ1の前端面1a(図8参照)は、劈開により形成すると共に、該前端面1aには反射率0.1%以下の無反射(AR)コーティング(図示略)を施している。
- [0115] すなわち、利得発生領域30を挟む前後2つの端面のうち前端面1aの反射率は1%以下に設定されているとともに、後端面1bの反射率は30%以上に設定されている。
- [0116] このような本実施形態の構造では、 $\Delta\alpha/g_{th}$ が十分1以上となり、 $\kappa L$ 値も2であるので、軸方向空間ホールバーニングの影響を抑制できた。よって、安定な単一モード動作( $\text{SMSR} > 50\text{dB}$ )と、低閾値電流動作( $< 2\text{mA}$ )が実現できた。また、 $40\text{mA}$ 以上の駆動電流により、 $3\text{mW}$ 以上の前方光ファイバ出力と、 $20\text{GHz}$ を越える高fr特性と、を得ることができ、超高速、低駆動電流、低駆動電圧の超高性能直接変調光源を実現することができた。

[0117] 一方、後端面1bからの光出力モニタに関して言えば、本実施形態では、後端面1bを金属被覆しているため、金属による吸収で後端面1bから後方への出射パワーが小さくなることが予測された。よってモニタPD2をも集積化し、漏れ光を検知する構成とした。

このようにモニタPD2も集積化することには、素子29における余裕領域を有効利用しつつ、該素子29をハンドリングに適したサイズにできるというメリットもある。

[0118] なお、モニタPD2への入力パワーをより増大するために、DFBレーザ1の後端面1bにおける電極被覆形状を工夫し、反射率が落ちない程度に、一部、光取り出し窓(光導出用窓;図示略)を設けることが有効である。例えば、DFBレーザ用p電極18aにおいて、DFBレーザ1の後端面1bを被覆する部分のうち、光導波路から4 $\mu$ m程度横にずれた位置に幅2 $\mu$ m程度の矩形状に電極を除去することにより、光取り出し窓を形成する。

[0119] また、集積されたモニタPD2も、基本的な層構造及び組成波長はDFBレーザ1と同じであるが、モニタPD2のレーザ側の端面(つまり、モニタPD2において、DFBレーザ1と対向する前端面2a(図8参照))は、DFBレーザ1の光導波路内への反射戻り光を抑制するため、図8に示すように、DFBレーザ1の後端面1aに対し平行にはせず、該後端面1aに対し傾斜状態に形成する。ここで、傾斜角度 $\theta$ は、DFBレーザ1の後端面30aとモニタPD2の前端面2aとのギャップ距離(端面ギャップ)GLに応じて、反射戻り光がレーザ側の光導波路に戻らないように設定する。本実施形態では、ギャップ距離GLは、例えば50 $\mu$ m程度であり、傾斜角度 $\theta$ は、例えば10°としている。

[0120] このようにDFBレーザ1と一体に集積されたモニタPD2を用いることにより、DFBレーザ1のオートパワーコントロール動作を制御するに十分なモニタ出力電流を得ることが出来た。また、素子29の全素子長は、250 $\mu$ mと、従来の10G直接変調型のDFBレーザと等しい。つまり、従来と同じ素子サイズで光モニタ機能をも付与した高付加価値の直接変調光源を実現することが出来た。また、駆動電流40mA以上で $f_r > 20$ GHzが得られているが、10Gbps動作を考えた場合、必要な電圧、電流をより一層低減することができ、超高速の10G-CMOSドライバによる駆動も可能なレベルと



なる。実際、本発明の光源とCMOSのLDドライバを内蔵したUncooledの直接変調光源モジュールとしたところ、10GHzの動作周波数では十分な特性が得られ、ドライバを含めて、より低コストなモジュールを実現することができた。

[0121] 次に、図9乃至図14を参照して製造方法を説明する。

[0122] なお、図9乃至図13の各図において、DFBレーザ1の形成領域には、未だDFBレーザ1の全体が形成されていない状態であってもDFBレーザ1と示している。同様に、図11乃至図14の各図において、モニタPD2の形成領域には、未だモニタPD2の全体が形成されていない状態であってもモニタPD2と示している。また、図9乃至図14の各図には、便宜的に単体の素子部分のみを示しているが、例えば、劈開により切り出すまでは、ウェハの状態であるものとする。

[0123] まず始めに、図9に示すように、n-InP基板10上に、有機金属気相成長法を用いて、n-InGaAlAsの第1SCH層12a(100nm厚)と、圧縮歪1%のInGaAlAsウエル(5nm厚)及び引っ張り歪み-1%のInGaAlAs(5nm厚)バリアからなる10層のMQW11と、InGaAlAs(50nm厚)/InAlAs(50nm厚)/InGaAsP(150nm厚)からなる第2SCH層12bと、極薄いp-InPカバー層(図示略;50nm厚)と、をこの順に成長する。

[0124] 次に、p-InPカバー層(図示略)に対し、EB露光法を用いて、DFBレーザ1の形成領域のみに対し、 $\lambda/4$ シフトを有する回折格子13の回折格子パターン(図示略)を描画する。ここで、回折格子周期は、例えば約200nmで、 $\lambda/4$ シフト位置31(図3参照)は、DFBレーザ1の前端から $75\mu\text{m} \pm 5\mu\text{m}$ 後の位置である。すなわち、回折格子13は、屈折率結合構造で且つ $\lambda/4$ シフト構造を有し、該 $\lambda/4$ シフト位置31が、利得発生領域30の前後方向の長さを100%としたとき、該利得発生領域30の前端より75% $\pm$ 5%後方の位置とされている。

[0125] そして、このように描画された回折格子パターンをドライエッチングを用いて半導体へ転写する。ここで、回折格子の深さは、例えば約100nmとし、回折格子パターンに対するドライエッチングは、Alを含む層(つまり第2SCH層12bのInAlAs層)まで到達しないよう第2SCH層12bのInGaAsP層でストップさせる。これは、Alを含む層の酸化による問題発生を回避するためである。以上により、図9に示すように、部分的(

DFBレーザ1の形成領域のみ)に回折格子13が形成されたウエハが得られる。

- [0126] 次に、図10に示すように、部分的に回折格子13が形成されたウエハに、有機金属気相成長法を用いて、例えば $2\mu\text{m}$ 厚のp-InPクラッド層14と、300nm厚のp+-InGaAsキャップ層15と、をこの順に成長する。
- [0127] 次に、図11に示すように、ドライエッチングを用いて、DFBレーザ1とモニタPD2の各領域を含む導波路メサ32を形成する。つまり、DFBレーザ1とモニタPD2の各形成領域を含むメサを残して、p+-InGaAsキャップ層15から第1SCH層12Aまでの各層をドライエッチングにより除去する。ここで、導波路メサ32の幅(導波方向に対する直交方向の寸法)は、DFBレーザ1の形成領域では例えば $1.5\mu\text{m}$ 程度とする一方で、モニタPD2の形成領域では、受光面積を広くするために例えば $50\mu\text{m}$ 程度とする。
- [0128] 次に、図12に示すように、導波路メサ32の両側部に、有機金属気相成長法を用いて、FeドープInP電流ブロック層16を、該導波路メサ32と同じ高さまで成長する。なお、本実施形態では、電流ブロック層として、Feをドーピングして高抵抗化したFeドープInP電流ブロック層16を採用する例を説明するが、これに限らず、ドーパントには例えばRuを用いても良い。
- [0129] 次に、図13に示すように、ドライエッチングを用いて、モニタPD2の周囲をコ字状にエッチングすることにより、導波路メサ32を、DFBレーザ1とモニタPD2とに分離する。なお、このエッチングでは、n-InP基板10の表層部までを除去する。このエッチングにより、DFBレーザ1の後端面1b(図8;利得発生領域30の後端面でもある)とモニタPD2の前端面2a(図8)とが形成される。
- [0130] このうちモニタPD2の前端面2aは、図8に示すように、DFBレーザ1の後端面1bと平行にならないよう、該後端面1bに対して例えば $10^\circ$ 以上の傾斜をもたせている。なお、DFBレーザ1とモニタPD2との間の距離(ギャップ距離GL)は約 $50\mu\text{m}$ である。
- [0131] 次に、図14に示すように、SiN膜17を素子29における上面側の全表面に形成する。このSiN膜17は、電流阻止用絶縁膜並びにパシベーション用膜として機能するものである。
- [0132] 次に、SiN膜17には、DFBレーザ1の領域では電流注入用の窓17aを開口し、モ

ニタPD2の領域では電流抽出用の窓(図示略;窓17aと同様の形状)を開口する。

[0133] 次に、図14に示すように、素子29の上面にp電極を形成する。

[0134] すなわち、DFBレーザ1の領域では、SiN膜17上を覆い、且つ、該SiN膜17に形成された電流注入用の窓17aを介してp+-InGaAsキャップ層15上を覆うように、DFBレーザ用p電極18aを形成する。

[0135] ここで、DFBレーザ用p電極18aは、例えば、TiPtAuからなる。このDFBレーザ用p電極18aは、DFBレーザ1の後端面1bも被覆するように形成する。これによりDFBレーザ1の後端面1aの反射率として例えば90%以上の高反射率を得ることができる。

[0136] また、DFBレーザ用p電極18aは、必要最小限の面積に形成する。これにより、DFBレーザ用p電極18aのキャパシタンスを十分に小さくすることができるので、DFBレーザ1が目的とする変調周波数を損うことがない。

[0137] 他方、モニタPD2の領域でも、同様に、SiN膜17上を覆い、且つ、該SiN膜17に形成された電流注出用の窓(図示略)を介してp+-InGaAsキャップ層15上を覆うように、モニタPD用p電極18bを形成する。

[0138] また、ウェハ裏面を研磨後、該裏面上に、n電極19を形成する。なお、このn電極19は、DFBレーザ1及びモニタPD2に兼用のものである。また、ウェハ裏面の研磨は、劈開を容易とさせるために行うものであり、例えばウェハが100  $\mu$ m〜350  $\mu$ m程度まで薄くなるように行う。

[0139] 以上により、ウェハ状態での素子作製工程が終了する。

[0140] 次に、劈開によりウェハからバー状態に素子を切り出した後、そのバー状態(アレイ状態)で、一体となっている各DFBレーザ1の前端面に通常は無反射コーティングを一括して施す。この無反射コーティングにより、DFBレーザ1の前端面の反射率として1%以下の反射率を得ることができた。

[0141] 更に、DFBレーザ1及びモニタPD2を1個ずつ含む素子に分離して、素子作製が完了した。

[0142] なお、DFBレーザ1単体の直列抵抗は、約8  $\Omega$ であった。

[0143] 本実施形態の素子29のサイズは、従来のDFBレーザと同程度の長さ250  $\mu$ m、幅

250  $\mu\text{m}$ であるため、2インチウエハからの素子総収量は約2万個、素子歩留まりは60%であり、良品数は約1万2千個という極めて良好な値を得ることができた。得られた特性は、記述のとおりである。

- [0144] 以上のような第一の実施形態によれば、上記第一乃至第九の効果、並びに、上記第十一乃至第十三の効果を得ることができる。
- [0145] なお、上記の第一の実施形態においては、光導波路の材料(利得発生領域30を構成する材料)にAl系材料が含まれる例を示したが、本発明は、この例に限らず、GaInNAs/GaAs等のN系材料においても同様に実施可能である。この場合、GaAsウエハをベースとして素子を作り込むことができるため、より大きいウエハでプロセスを進められる等のメリットを享受できる。また、光導波路の材料は、Sb系材料であっても良い。このように、利得発生領域30を構成する材料が、Al、N及びSbのうちの少なくとも何れか1つを含むようにすることにより、上記第十三の効果を得ることができる。
- [0146] また、上記第一の実施形態において、p-InPクラッド14のドーピング濃度を低減したり、DFBレーザ1のメサ幅1.5  $\mu\text{m}$ を更に低減したり、利得発生領域長を一層短くしたりすること等によって、DFBレーザ1の直列抵抗を50  $\Omega \pm 10 \Omega$ 程度にすることもでき、これにより、上記第十四の効果を得ることができる。
- [0147] 〔第二の実施形態〕
- 上記の第一の実施形態では、素子29にDFBレーザ1とモニタPD2とが一体的に集積されている例を説明したが、本発明はこれに限らず、例えば図15に示すように、DFBレーザ1のみが搭載された素子35とすることもできる。すなわち、この第二の実施形態に係る素子35は、図7に示す素子29と比べてモニタPD2を有しない点のみ異なる。
- [0148] 図15に示す第二の実施形態に係る素子35を得るためには、図11の段階で行うエッチングにてDFBレーザ1の領域のみの導波路メサ(図示略)を形成するとともに、モニタPD2を形成するための各工程を省略する。
- [0149] 図15に示す素子35の場合、素子35全体の前後長は例えば200  $\mu\text{m}$ 程度と更に短尺化することができるとともに、DFBレーザ1の後端面1bの高反射膜には、DFBレーザ用p電極18aの代わりに誘電体多層膜(図示略)を用いることもできる。

[0150] 第二の実施形態によれば、上記第一乃至第六の効果、並びに、上記第十一乃至第十三の効果を得ることができる。

[0151] 〔第三の実施形態〕

また、上記第一の実施形態において、図13の状態とした後で、モニタPD2の領域に適切な周期で短冊状のエッチングを施すことにより、図16に示すように、複数部分に分割構成された外部反射器3を集積した素子33とすることもできる。外部反射器3における各分割部分の配置周期は、例えば、DFBレーザ1の領域の約2倍の400nm程度である。ここで、外部反射器3における各分割部分の端面（前端面及び後端面）は、モニタPD2の場合とは異なり、DFBレーザ1の後端面1bと平行である必要があり、上記短冊状のエッチングはそのように行う必要がある。

[0152] 図16に示すように外部反射器3を集積する場合、外部反射器3の助けにより反射率が向上するため、DFBレーザ1の後端面1bには高反射膜を形成しないで良い。なお、図16に示す例の場合、DFBレーザ1の利得発生領域長は、例えば80 $\mu$ m程度としている。

[0153] なお、本実施形態の場合、利得発生領域30の後方側に反射機能領域すなわち外部反射器3を備えているため、「利得発生領域30を挟む前後2つの端面1a、1bのうち後端面1b側から前側を見た反射率」は、後端面1bによる反射に加え、外部反射器3からの反射を含んだ反射率となる。

[0154] 以上のような第三の実施形態によれば、上記第一乃至第七の効果、上記第十の効果、並びに、上記第十三の効果を得ることができる。

[0155] なお、上記の第三の実施形態では、更に、外部反射器3に適宜電極を形成し、電流を取り出せるようにすることで、該外部反射器3にモニタPD機能を付与することも可能であり、この場合には、上記第八の効果も得ることができる。但し、この場合、モニタPDの端面と外部反射器3の反射率が若干低下するため、DFBレーザ1の利得発生領域長を長くする等の工夫が必要である。なお、モニタPD機能を付与するのは、外部反射器3における何れか1つの分割部分であっても良いし、複数の分割部分であっても良い（例えば、全ての分割部分であることが好ましい）。

[0156] 〔第四の実施形態〕

また、モニタPD2と一体的に集積されたDFBレーザ1(図7)を、図17に示すように、モノリシックに複数配列してアレイ化することができる。この場合は、アレイ状素子34の上面にpとnの各電極を備える構成とする必要がある。このため、Fe-InP等の高抵抗基板20上に、n-InPコンタクト層21を成長した後、上記実施形態と同様の層構造を形成し、アレイ状に素子化する。

[0157] 例えば、CWDM用途の場合は、アレイ状素子(分布帰還型半導体レーザアレイ)34に含まれる各々のDFBレーザ1の発振波長が約20nm程度ずつ異なるように、各DFBレーザ1の回折格子13の周期を調整する。すなわち、図17に示すように4つのDFBレーザ1からなるアレイ状素子34の場合に、室温の発振波長が、例えば、 $\lambda_1$ (第1のDFBレーザ1)=1290nm、 $\lambda_2$ (第2のDFBレーザ1)=1310nm、 $\lambda_3$ (第3のDFBレーザ1)=1330nm、 $\lambda_4$ (第4のDFBレーザ1)=1350nmとなるように各回折格子13の周期を設定する。

[0158] また、アレイ状素子34に含まれる各DFBレーザ1を独立に駆動するため、各DFBレーザ1の間は、分離溝26によって電氣的に絶縁する。この分離溝26は、エッチングにより、基板20内にまで達するように形成する。

[0159] また、各DFBレーザ1の利得発生領域30間での相互の熱干渉についても回避するため、各DFBレーザ1の間隔(利得発生領域30の中心位置のピッチ)は例えば500 $\mu$ m以上としている。

[0160] 最終的に、上記第一の実施形態と同様にDFBレーザ用p電極18a及びモニタPD用p電極18bを形成するのに加えて、DFBレーザ用n電極23及びモニタPD用n電極24もアレイ状素子34の上面側に形成する。これにより、各DFBレーザ1をアレイ状素子34の上面側から独立に直接変調できることとなる。

[0161] ここで、第四の実施形態の場合には、図18に示すように、DFBレーザ用n電極23及びモニタPD用n電極24をn-InPコンタクト層21に接続した状態に形成する必要があるため、図12の状態から図13の状態とするためのエッチングは、h字状(図18の場合、hを鏡像反転させたような形状)に行う必要がある。

[0162] このようにして得られるアレイ状素子34を、例えば、図18に示すようにAWG合波器27とハイブリッド集積し、出力導波路28に全光出力( $\lambda_1$ 〜 $\lambda_4$ )をまとめて取り出せ

る様にし、光ファイバへ接続することで、CWDM用途に適用可能な、DFBレーザアレイ光源を実現することができる。

- [0163] なお、図18に示すAWG合波器27に代えて、例えば、誘電体フィルタ及びミラーを用いることとしても良いし、或いは、その他の合波器を用いることとしても良い。
- [0164] 以上のような第四の実施形態によれば、上記第一乃至第九の効果、上記第十一乃至第十三の効果、並びに、上記第十五の効果を得ることができる。
- [0165] また、本発明は、以上において説明したほかに、上記第一乃至第三の実施形態に係る素子29、35、33、もしくは、上記第四の実施形態に係るアレイ状素子34を備える光モジュールとしてもよく、この場合には、上記第十六の効果を得ることができる。

## 請求の範囲

- [1] レーザ光の利得を発生させる利得発生領域と、該利得発生領域の内部に形成された回折格子と、を備える分布帰還型半導体レーザにおいて、  
前記利得発生領域を挟む前後2つの端面のうち前端面の反射率は1%以下に設定されているとともに、前記2つの端面のうち後端面側から前側を見た反射率は30%以上に設定され、  
前記回折格子の結合係数を $\kappa$ 、前記利得発生領域の長さを $L$ とすると、 $\kappa$ は $100\text{ cm}^{-1}$ 以上に、 $L$ は $150\text{ }\mu\text{ m}$ 以下に、それぞれ設定され、  
モード間利得差を $\Delta\alpha$ 、閾値利得を $g_{th}$ とすると、 $\Delta\alpha/g_{th}$ が1以上となる $\kappa$ と $L$ の組み合わせを用いていることを特徴とする分布帰還型半導体レーザ。
- [2] 前記結合係数 $\kappa$ と利得発生領域長 $L$ との積が1以上3以下であることを特徴とする請求項1に記載の分布帰還型半導体レーザ。
- [3]  $\Delta\alpha/g_{th}$ の利得発生領域長 $L$ への依存性をプロットした場合に $\Delta\alpha/g_{th}$ がピーク値となる利得発生領域の長さを $L_p$ とすると、利得発生領域長 $L$ は $L_p$ 以下であることを特徴とする請求項1又は2に記載の分布帰還型半導体レーザ。
- [4] 前記回折格子が、  
利得結合構造、  
損失結合構造、  
或いは、利得結合、損失結合及び屈折率結合のうちの2つ或いは3つが混在する構造であるか、  
又は、屈折率結合構造で且つ $\lambda/4$ シフト構造を有していることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか一項に記載の分布帰還型半導体レーザ。
- [5] 前記回折格子が、屈折率結合構造で且つ $\lambda/4$ シフト構造を有し、該 $\lambda/4$ シフト位置が、前記利得発生領域の前後方向の長さを100%としたとき、該利得発生領域の前端より75%±5%後方の位置とされていることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか一項に記載の分布帰還型半導体レーザ。
- [6] 前記利得発生領域の後端面がエッチングにより形成され、  
当該分布帰還型半導体レーザを含む素子全体の前後長は $150\text{ }\mu\text{ m}$ よりも長いこと



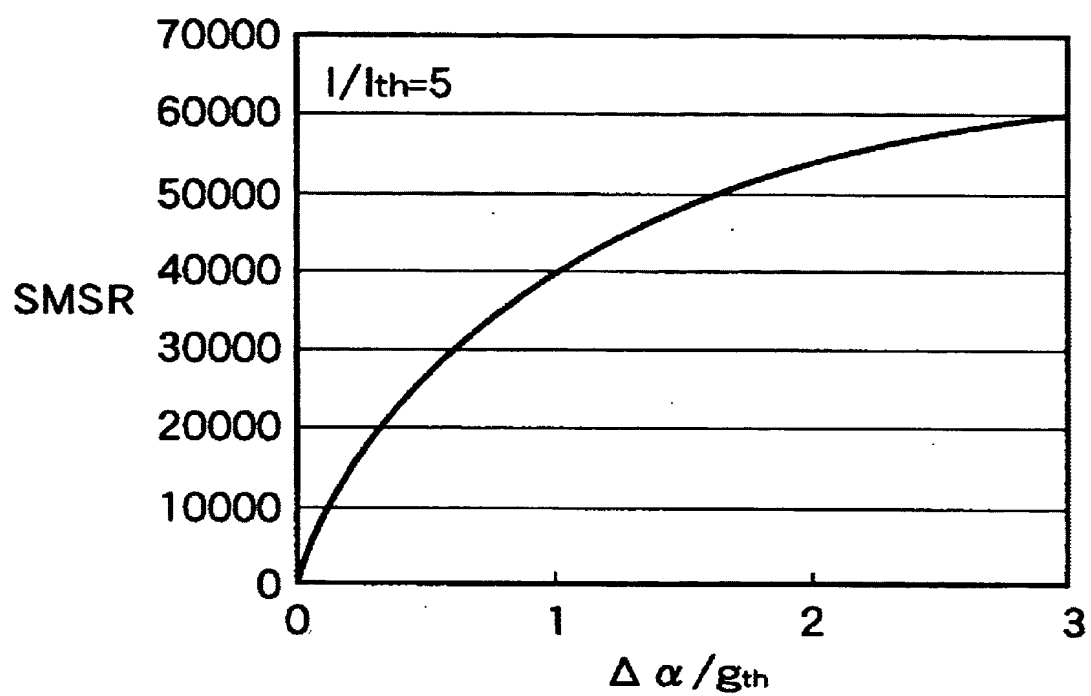
- を特徴とする請求項1乃至5のいずれか一項に記載の分布帰還型半導体レーザ。
- [7] 前記素子は、前記エッチングにより形成された端面ギャップを介して当該分布帰還型半導体レーザの後方側に集積された他の機能領域を含む構造とされていることを特徴とする請求項6に記載の分布帰還型半導体レーザ。
- [8] 前記他の機能領域が、受光機能を有することを特徴とする請求項7に記載の分布帰還型半導体レーザ。
- [9] 前記他の機能領域の前端面が、前記利得発生領域の後端面に対し傾斜状態に形成されていることを特徴とする請求項8に記載の分布帰還型半導体レーザ。
- [10] 前記他の機能領域が、前記利得発生領域側への反射機能を有することを特徴とする請求項7乃至9のいずれか一項に記載の分布帰還型半導体レーザ。
- [11] 前記利得発生領域の後端面の反射率が90%以上に設定されていることを特徴とする請求項1乃至10のいずれか一項に記載の分布帰還型半導体レーザ。
- [12] 前記利得発生領域の後端面は、該後端面に高反射膜が設けられたことにより90%以上の反射率とされていることを特徴とする請求項11に記載の分布帰還型半導体レーザ。
- [13] 前記高反射膜には、前記利得発生領域内より光を導出させるための光導出用窓が形成されていることを特徴とする請求項12に記載の分布帰還型半導体レーザ。
- [14] 前記利得発生領域を構成する材料が、Al、N及びSbのうちの少なくとも何れか1つを含むことを特徴とする請求項1乃至13のいずれか一項に記載の分布帰還型半導体レーザ。
- [15] 当該分布帰還型半導体レーザの直列抵抗が $50\Omega \pm 10\Omega$ であることを特徴とする請求項1乃至14のいずれか一項に記載の分布帰還型半導体レーザ。
- [16] 請求項1乃至15のいずれか一項に記載の分布帰還型半導体レーザをアレイ状にモノリシックに備え、且つ各分布帰還型半導体レーザの波長が相互に異なることを特徴とする分布帰還型半導体レーザアレイ。
- [17] 請求項1乃至15のいずれか一項に記載の分布帰還型半導体レーザ又は請求項16に記載の分布帰還型半導体レーザアレイを備えることを特徴とする光モジュール。
- [18] 予め定められた所定値以下の極短に短尺化された利得発生領域を有し、

前記利得発生領域の内部に回折格子が配設され、

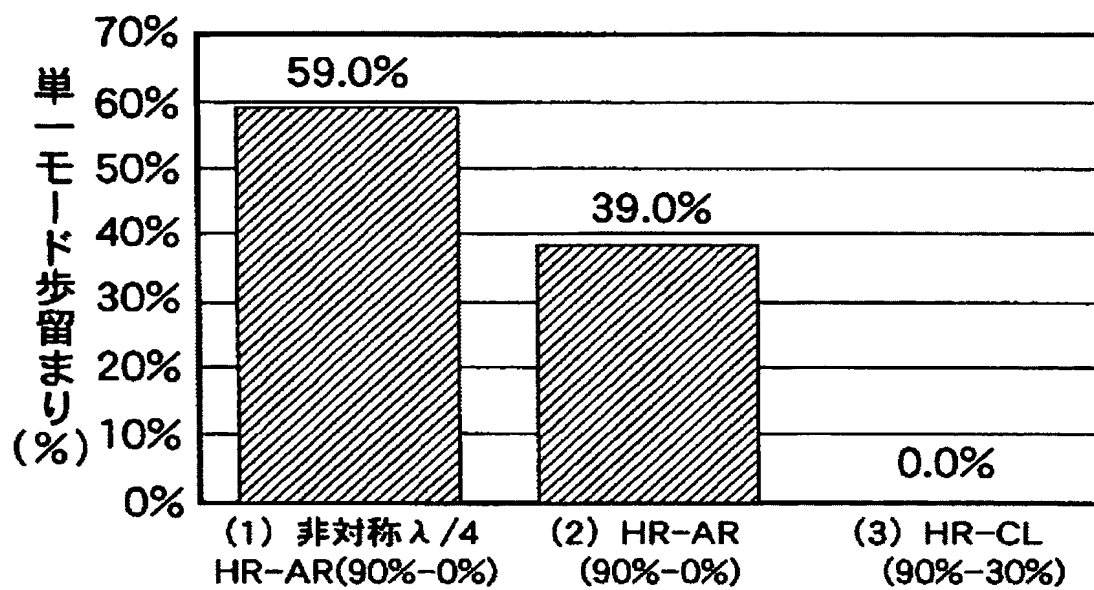
単一モード安定指標を  $\Delta \alpha / g_{th}$  (ただし、 $\Delta \alpha$  はモード間利得差、 $g_{th}$  は閾値利得であり内部損失  $\alpha_i$  とミラー損失  $\alpha_m$  の和) とし、該  $\Delta \alpha / g_{th}$  は、副モードが発振するためには主モードの発振に必要な所定倍の利得が必要であることに対応する値又は該値以上に設定され、単一モード安定性を有する、ことを特徴とする分布帰還型半導体レーザ。

- [19] 前記利得発生領域を挟む前後の端面の反射率について、  
前端面の反射率は相対的に低い値の第1の値以下とされ、  
後端面側から前側を見た反射率は相対的に高い値の第2の値以上とされる、ことを特徴とする請求項18記載の分布帰還型半導体レーザ。
- [20] 前記回折格子の結合係数が予め定められた所定値以上とされ、  
前記回折格子の結合係数及び前記利得発生領域の長さの値の組み合わせとして、前記単一モード安定指標  $\Delta \alpha / g_{th}$  が、副モードが発振するためには主モードの発振に必要な2倍の利得が必要であることを示す値以上となるような組み合わせが用いられる、ことを特徴とする請求項18記載の分布帰還型半導体レーザ。
- [21] 請求項1又は18記載の分布帰還型半導体レーザの後に外部反射器を備えている、ことを特徴とする分布帰還型半導体レーザ。
- [22] レーザ光の利得を発生させる利得発生領域と、該利得発生領域の内部に形成された回折格子とを備える分布帰還型半導体レーザにおいて、  
前記利得発生領域の後方に外部反射器を備えている、ことを特徴とする分布帰還型半導体レーザ。

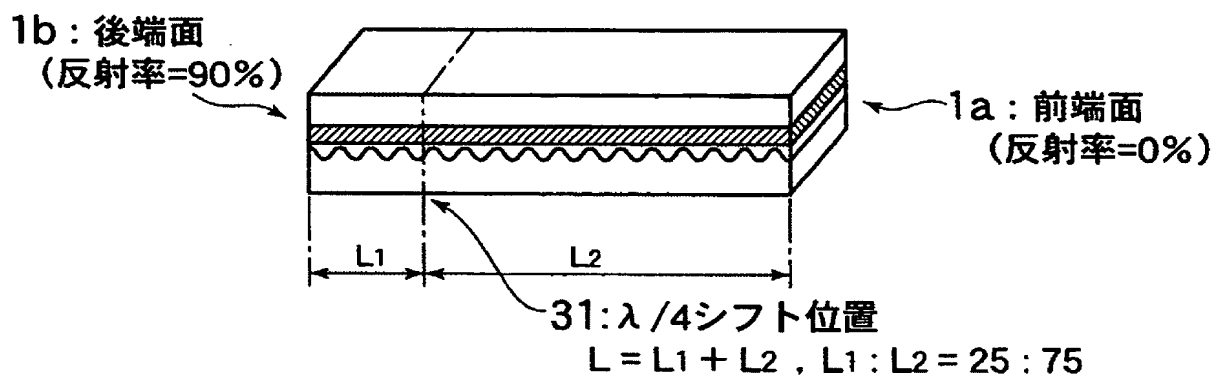
[図1]



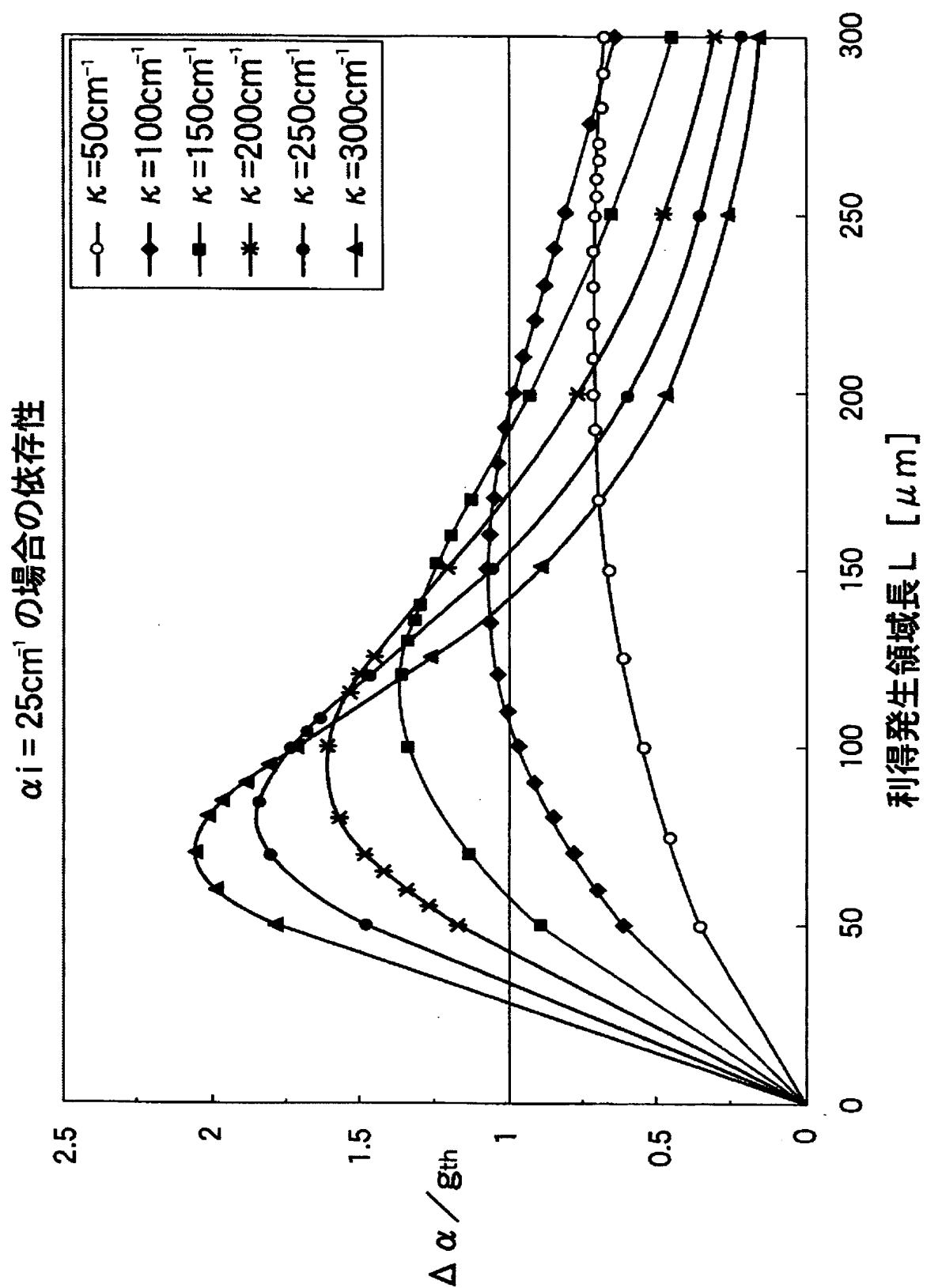
[図2]



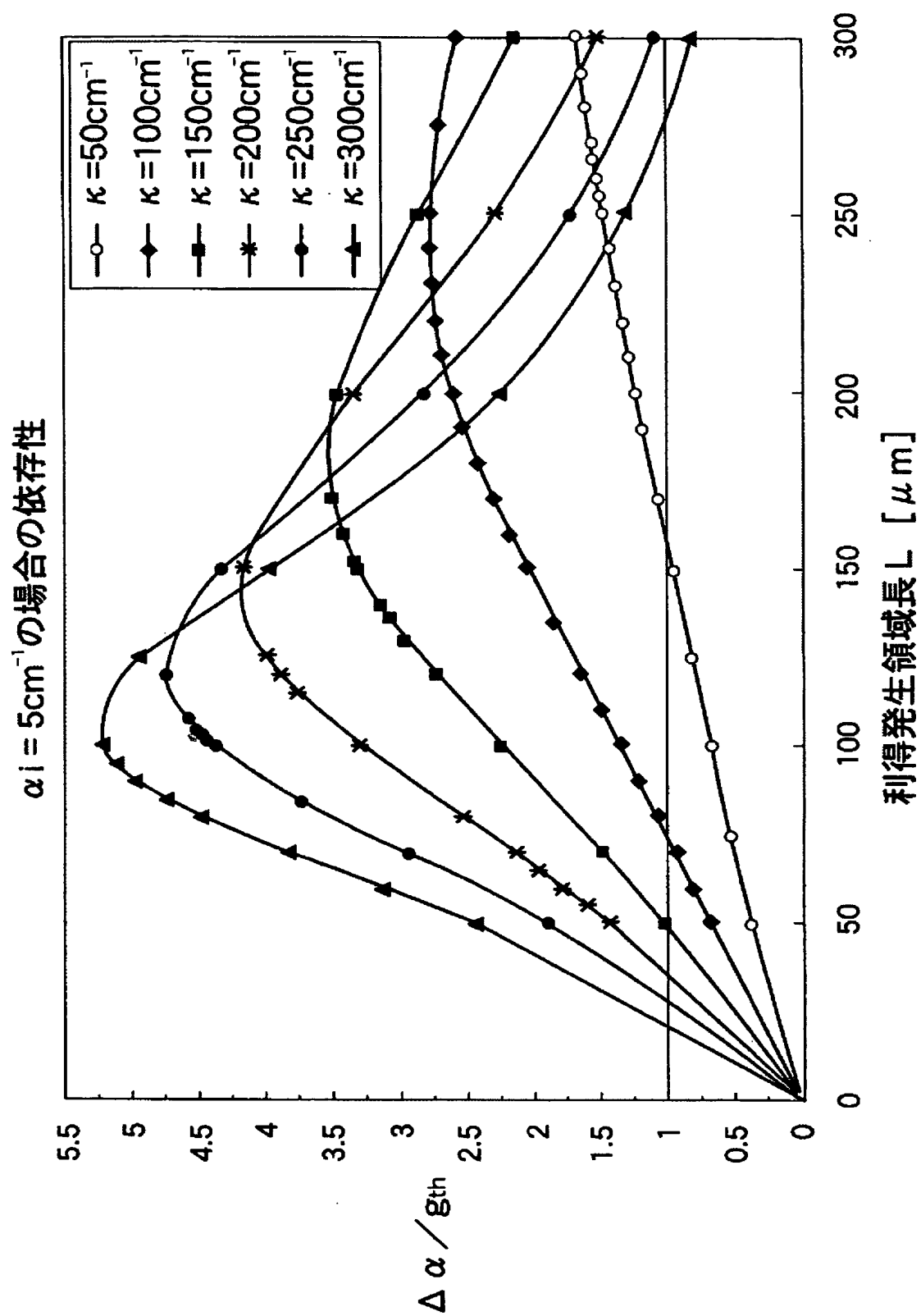
[図3]



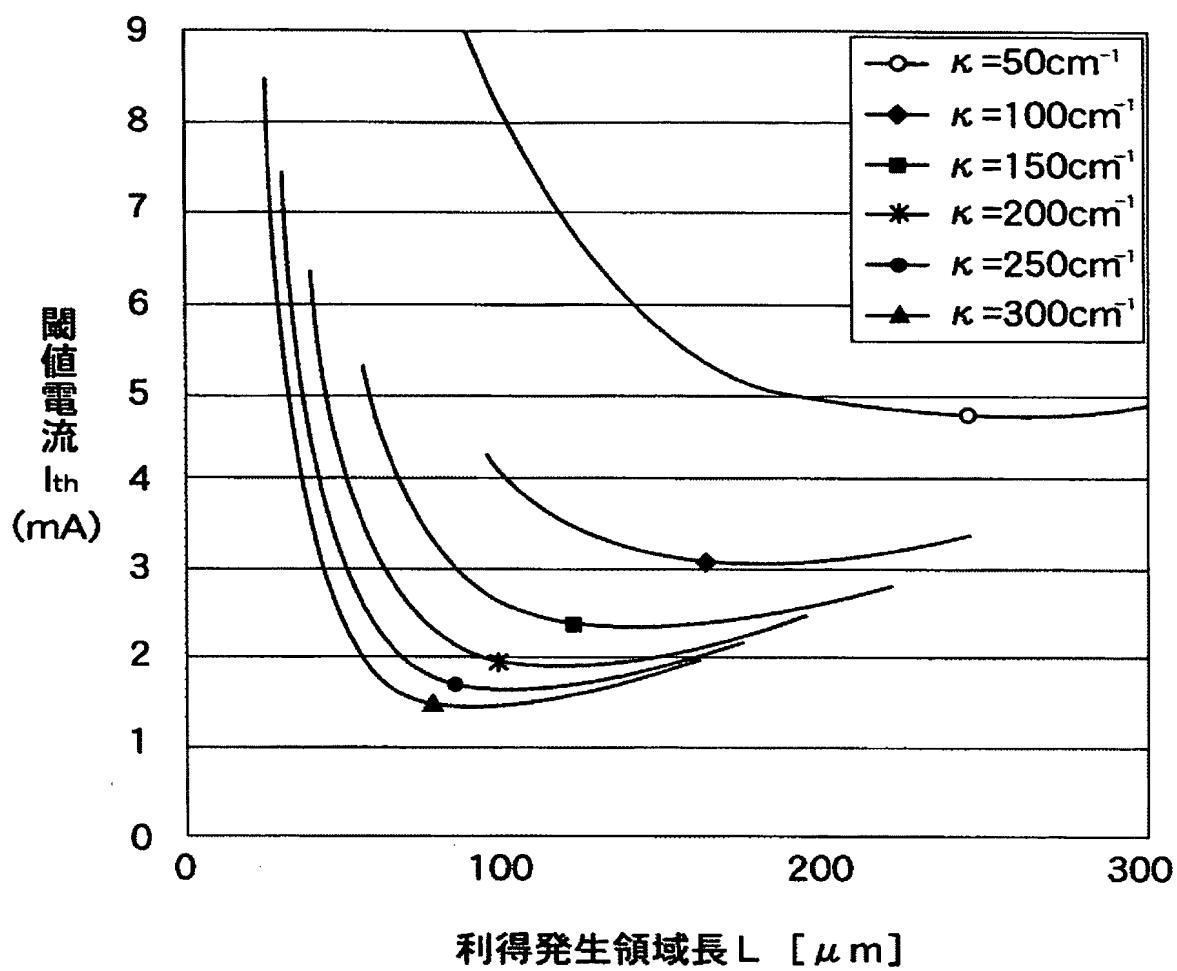
[図4]



[図5]

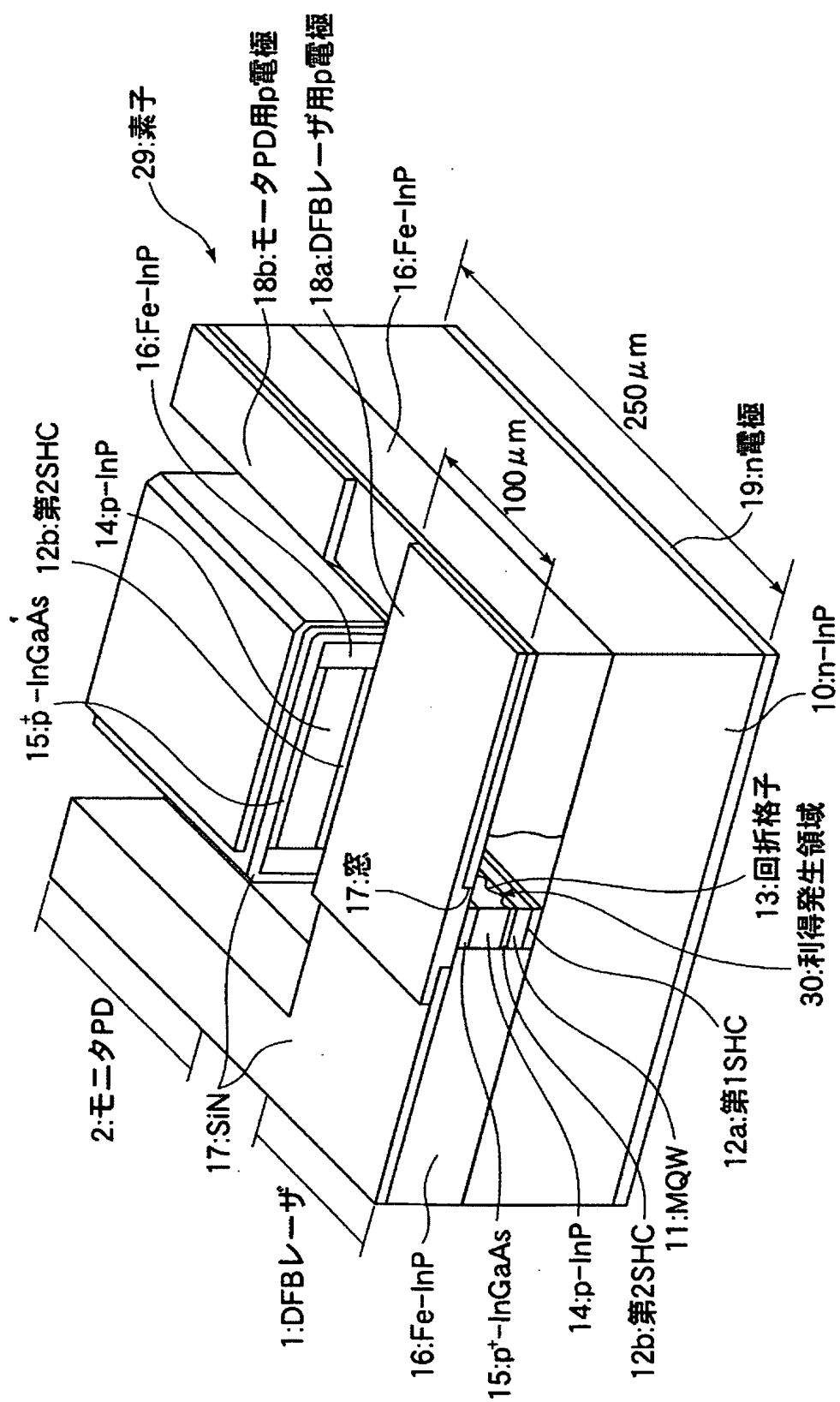


[図6]

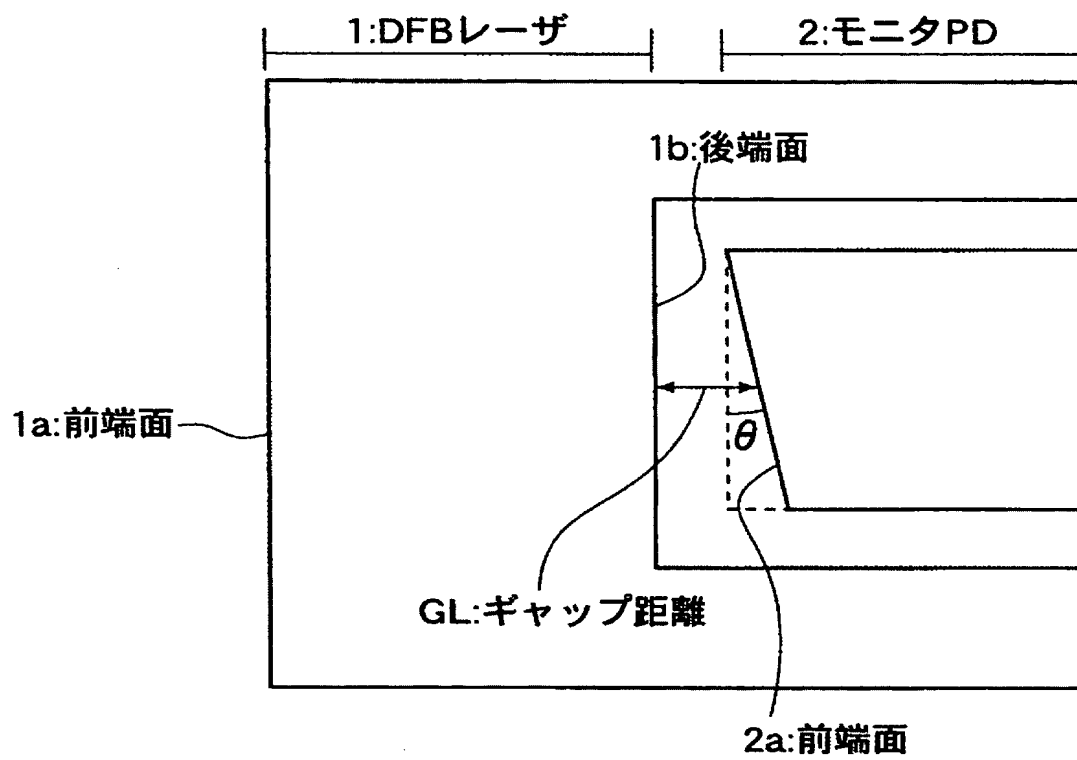




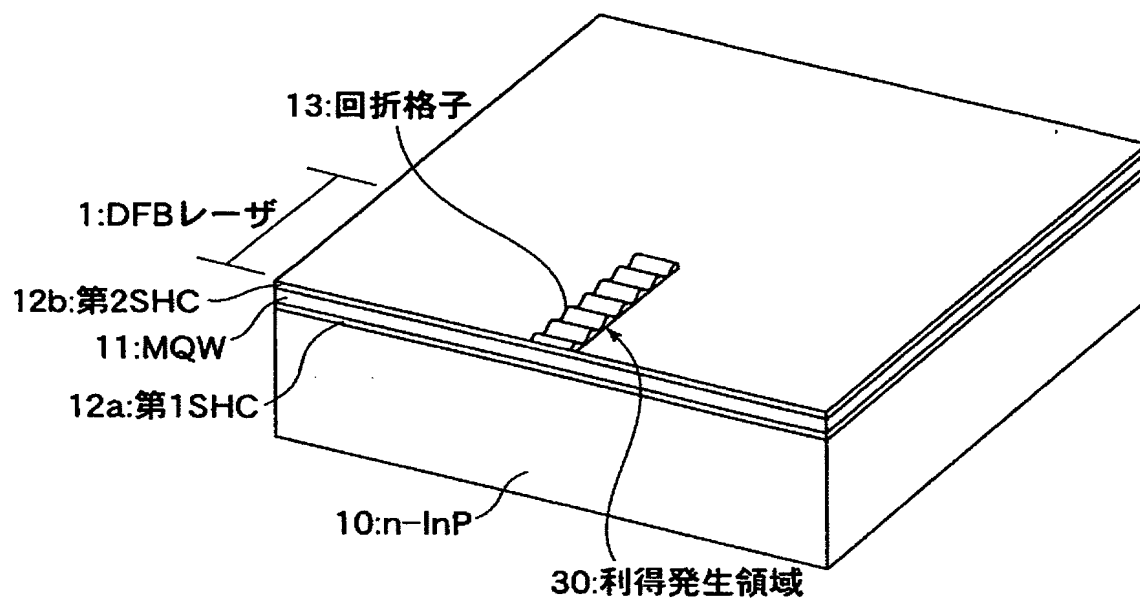
[図7]



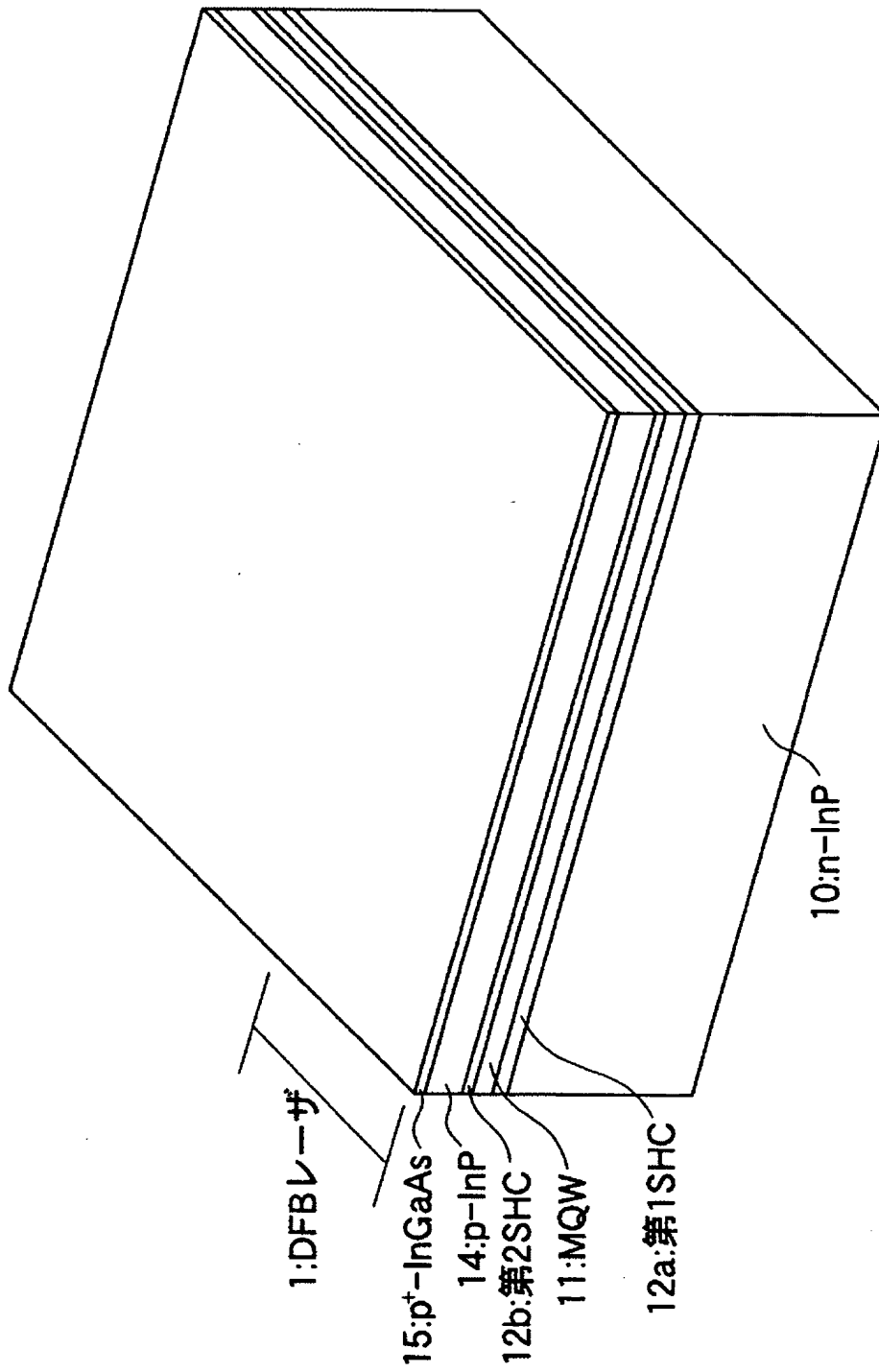
[図8]



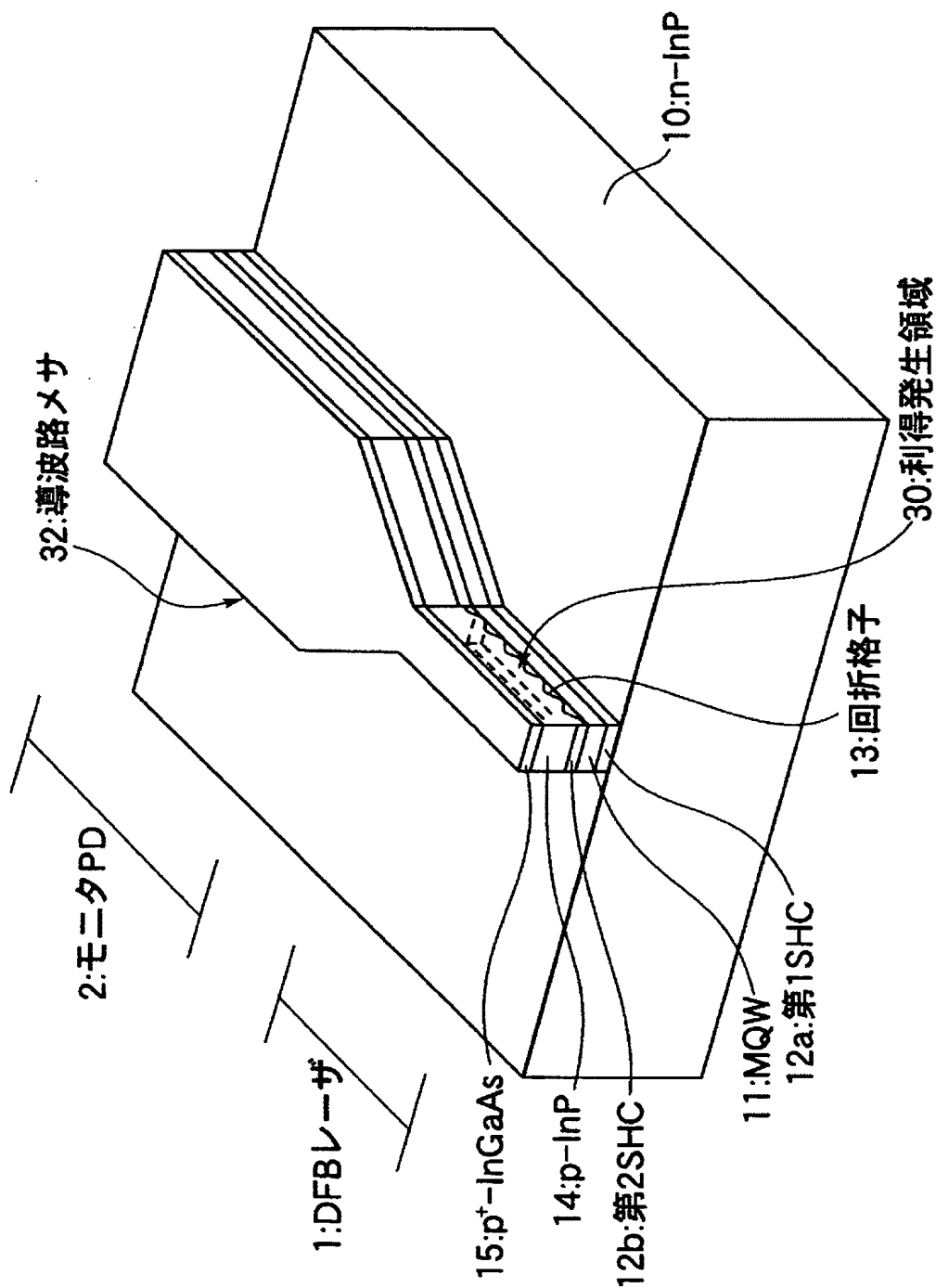
[図9]



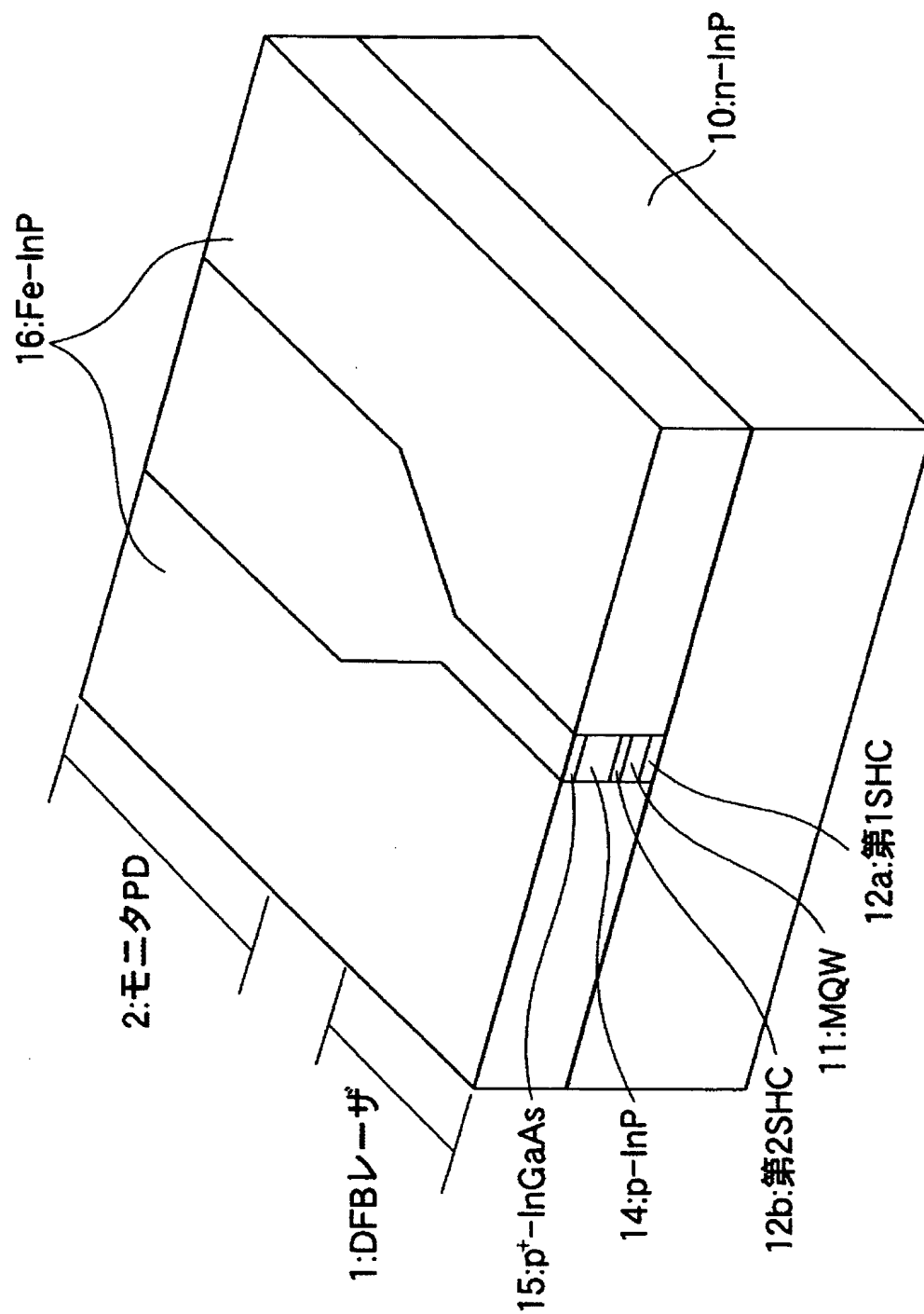
[図10]



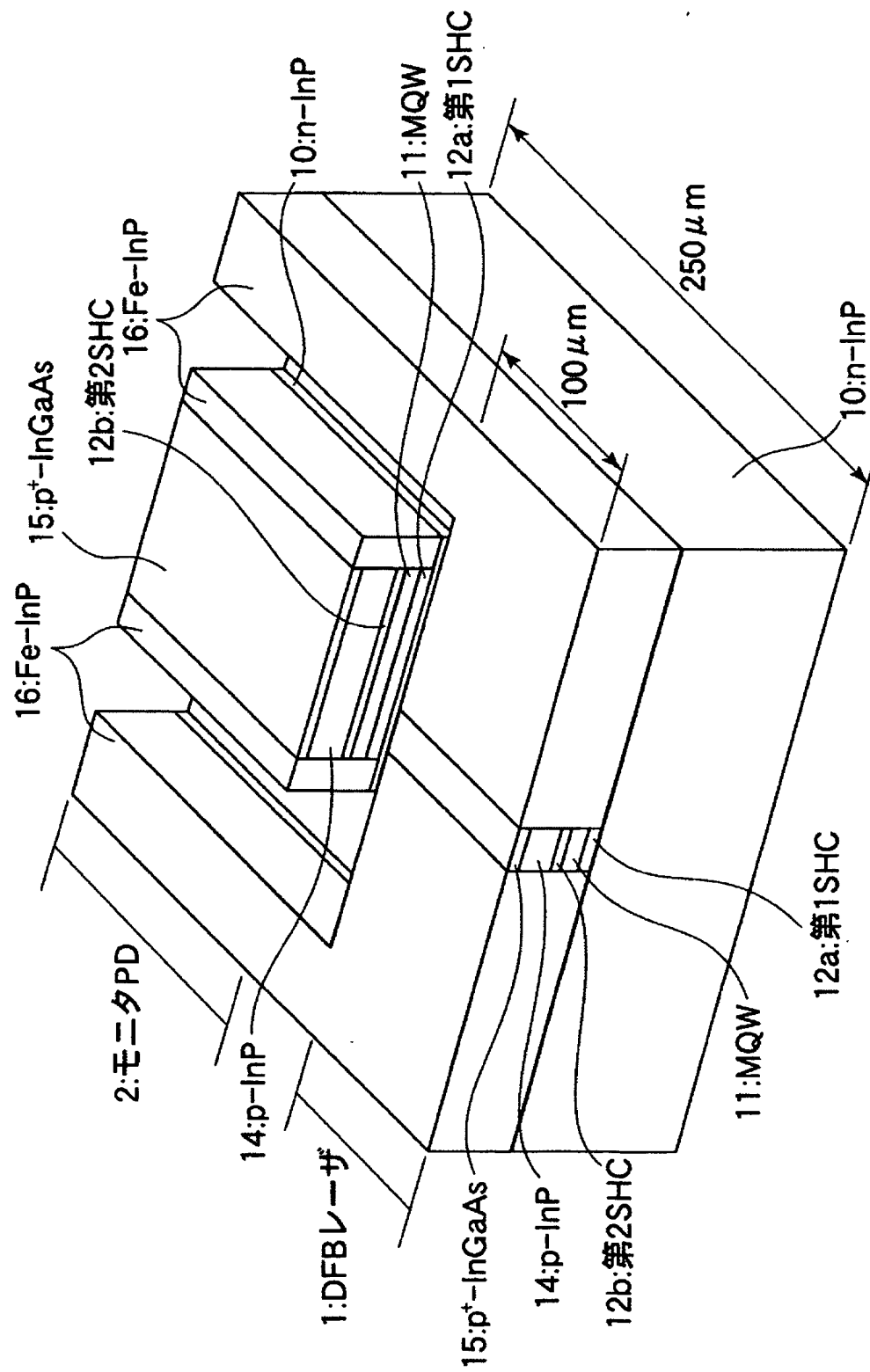
[図11]



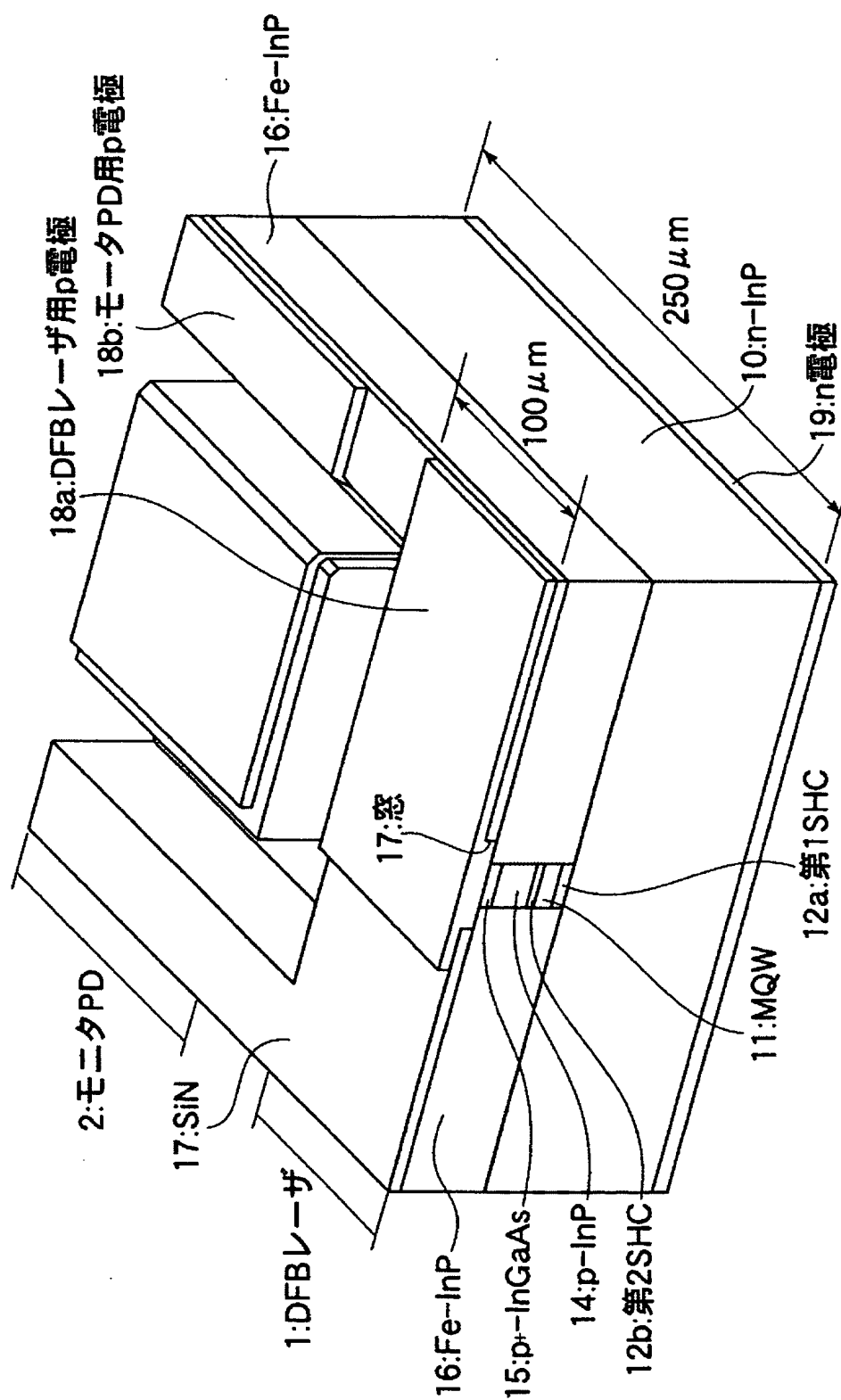
[図12]



[図13]

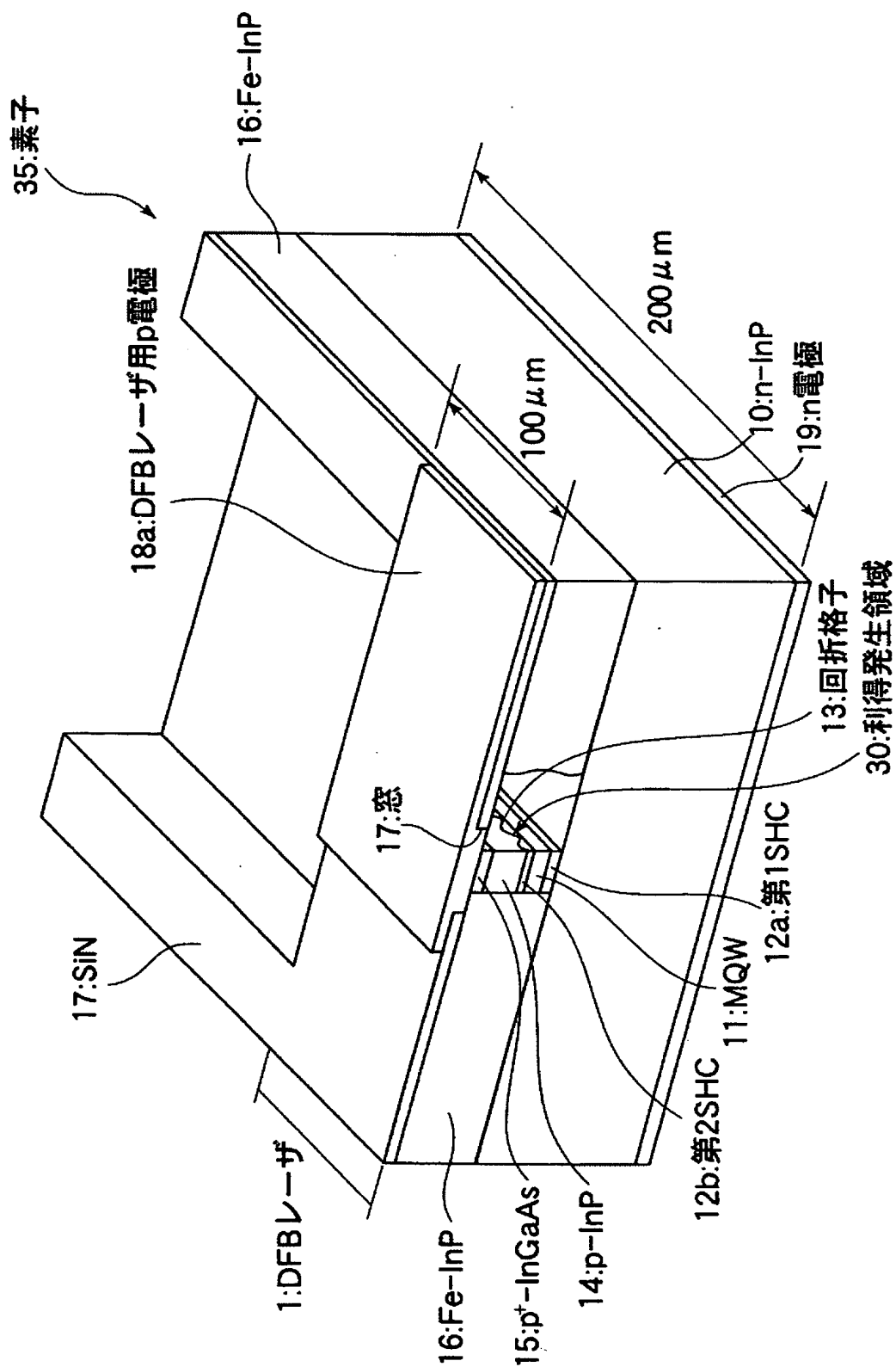


[図14]

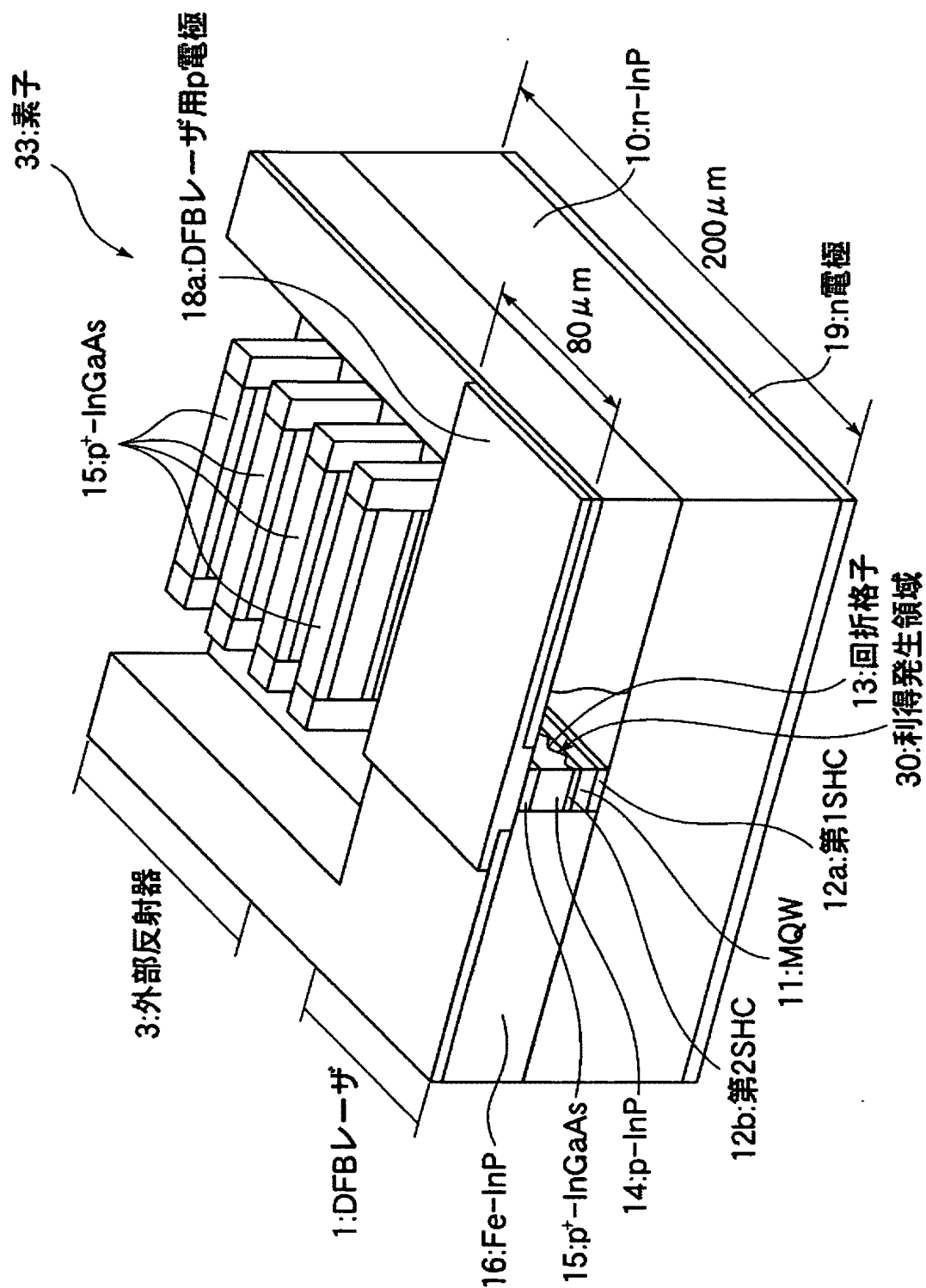




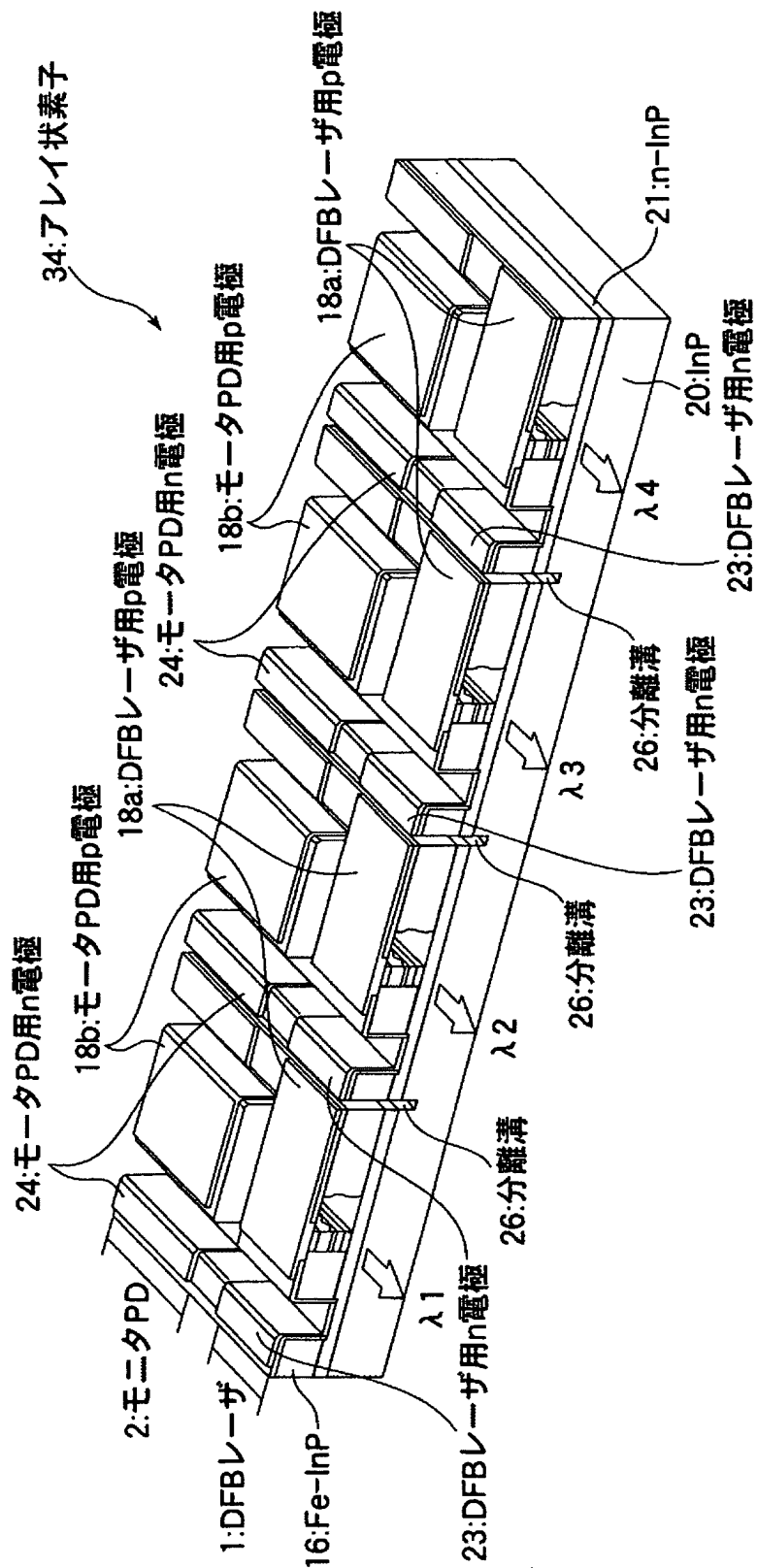
[図15]



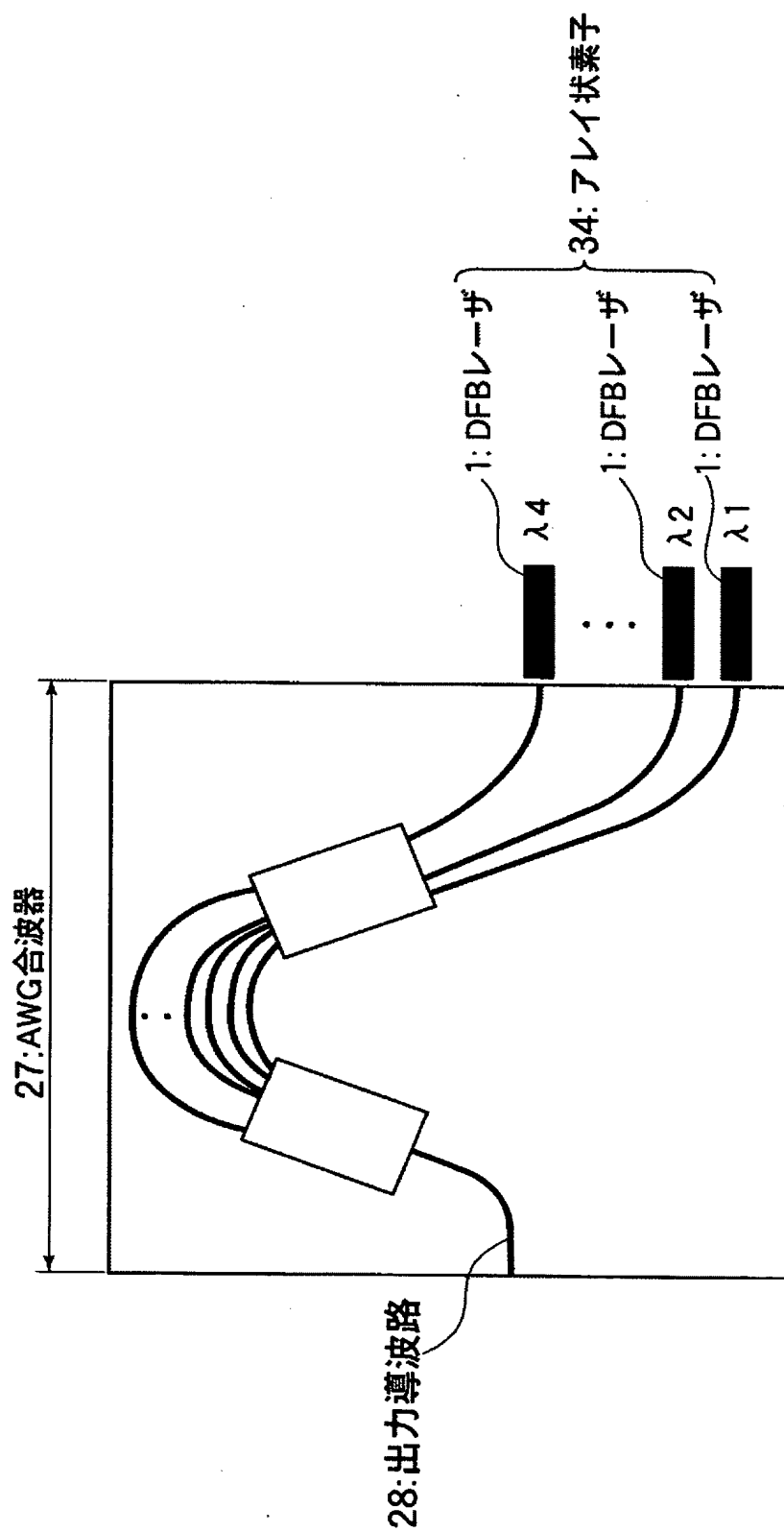
[図16]



[図17]



[図18]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/016838

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> H01S5/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H01S5/00-5/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

IEEE/IEE, Electronic Library

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	ITAYA, Y. et al., 'Low Threshold Current GaInAsP/InP DFB Lasers', In: IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, VOL.QE-23, NO.6, JUNE 1987, pages 828 to 834	1-3, 18-20 4-17, 21
Y	US 4740987 A (McCALL, Jr. et al.), 26 April, 1988 (26.04.88), Column 2, lines 49 to 61; column 4, lines 28 to 37 & JP 63-027089 A & CA 1277756 A	4-5
Y	US 4796273 A (YAMAGUCHI, M.), 03 January, 1989 (03.01.89), Column 3, lines 38 to 54 & DE 3681052 A & EP 195425 A2 & JP 61-216383 A	4-5



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"I" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

04 February, 2005 (04.02.05)

Date of mailing of the international search report

22 February, 2005 (22.02.05)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/016838

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2003/0021319 A1 (AOKI, M.), 30 January, 2003 (30.01.03), Par. Nos. [0026] to [0027]; Figs. 2, 3 & JP 2003-046190 A	6-8, 10, 15, 21
Y	JP 63-080590 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 11 April, 1988 (11.04.88), Page 4, upper left column, line 6 to upper right column, line 24 (Family: none)	7-9
Y	JP 03-283483 A (Mitsubishi Electric Corp.), 13 December, 1991 (13.12.91), Claims (Family: none)	11
Y	JP 62-112391 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 23 May, 1987 (23.05.87), Page 3, upper right column, lines 6 to 18; Figs. 3, 4 (Family: none)	11
Y	JP 2002-198611 A (Seiko Epson Corp.), 12 July, 2002 (12.07.02), Claims 1 to 2, 4 (Family: none)	12-13
Y	NAKAHARA, K. et al., '115°C, 12.5-Gb/s direct modulation of 1.3-µm InGaAlAs-MQW RWG DFB laser with notch-free grating structure for datacom applications', OFC 2003, PD40-1- PD40-3	14
Y	US 2002/0159705 A1 (NANIWAE, K.), 31 October, 2002 (31.10.02), Claim 5; Fig. 2 & JP 2002-323628 A	16-17
X	JP 63-062390 A (NEC Corp.),	22
Y	18 March, 1988 (18.03.88), Page 4, upper left column, line 12 to lower left column, line 3 (Family: none)	21
X	JP 08-186334 A (Canon Inc.),	22
Y	16 July, 1996 (16.07.96), Par. Nos. [0023] to [0024]; Figs. 1, 4 (Family: none)	21

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2004/016838

**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

**Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Claims 1-21 relate to a distributed-feedback semiconductor laser in which the value of the single mode stability index is specified.

Claim 22 relates to a distributed-feedback semiconductor laser having an outer reflector disposed behind the gain generating region.

These inventions do not involve the same or corresponding "special technical feature" defining a contribution over the prior, and consequently are not considered as a group of inventions so linked as to form a single general inventive concept.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

**Remark on Protest**

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01S5/12

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01S5/00-5/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

IEEE/IEE Electronic Library

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	ITAYA, Y et al., 'Low Threshold Current GaInAsP/InP DFB Lasers', In: IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, VOL. QE-23, NO. 6, JUNE 1987, pp. 828 - 834	1-3, 18-20 4-17, 21
Y	US 4740987 A (McCALL, Jr. et al.) 1988.04.26, Column 2 Line 49-61, Column 4 Line 28-37 & JP 63-027089 A & CA 1277756 A	4-5
Y	US 4796273 A (YAMAGUCHI, M) 1989.01.03, Column 3 Line 38-54 & DE 3681052 A & EP 195425 A2 & JP 61-216383 A	4-5

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリ

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

04.02.2005

国際調査報告の発送日

22.2.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

笹野 秀生

2K

9519

電話番号 03-3581-1101 内線 3253



C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	US 2003/0021319 A1 (AOKI, M) 2003. 01. 30, [0026]~[0027], FIG. 2, 3 & JP 2003-046190 A	6-8, 10, 15, 21
Y	JP 63-080590 A (日本電信電話株式会社) 1988. 04. 11., 第4頁左上欄第6行~右上欄第24行 (ファミリーなし)	7-9
Y	JP 03-283483 A (三菱電機株式会社) 1991. 12. 13, 特許請求の範囲 (ファミリーなし)	11
Y	JP 62-112391 A (日本電信電話株式会社) 1987. 05. 23, 第3頁右上欄第6~18行、第3, 4図 (ファミリーなし)	11
Y	JP 2002-198611 A (セイコーエプソン株式会社) 2002. 07. 12, 請求項1-2, 4 (ファミリーなし)	12-13
Y	NAKAHARA, K. et al., '115°C, 12.5-Gb/s direct modulation of 1.3- $\mu$ m InGaAlAs-MQW RWG DFB laser with notch-free grating structure for datacom applications', OFC2003 PD40-1 - PD40-3	14
Y	US 2002/0159705 A1 (NANIWAE, K) 2002. 10. 31, Claim1, 5, FIG. 2 & JP 2002-323628 A	16-17
X	JP 63-062390 A (日本電気株式会社) 1988. 03. 18, 第4頁左上欄第12行~左下欄第3行 (ファミリーなし)	22
Y		21
X	JP 08-186334 A (キャノン株式会社) 1996. 07. 16, 【0023】~【0024】、図1, 4 (ファミリーなし)	22
Y		21

## 第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項(PCT17条(2)(a))の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

請求の範囲1-21は、単一モード安定指標を所定の値にした分布帰還型半導体レーザに関するものである。

請求の範囲22は、利得発生領域の後方に外部反射器を備える分布帰還型半導体レーザに関するものである。

これらは、先行技術に対する貢献を明示する同一又は対応する「特別な技術的特徴」を有していないため、一の発明であるとも、単一の一般的発明概念を形成するように連関している一群の発明であるとも認められない。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

## 追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。